

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# **ZAVRŠNI RAD**

Domagoj Nedved

Zagreb, 2009.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Sanjin Mahović

Domagoj Nedved

Zagreb, 2009.

Izjavljujem da sam ovaj Završni rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

Zahvaljujem svom mentoru, prof. dr. sc. Sanjinu Mahoviću, na stručnim savjetima, te na ukazanom povjerenju da ću ovaj zadatak izvršiti u roku.

Gorani Barišić, dipl. ing., zahvaljujem na pomoći oko uređenja teksta i usuglašenosti izražavanja.

Tomislavu Habeku zahvaljujem na pomoći prilikom provedbe mjerenja u Laboratoriju.

## POPIS OZNAKA

$R_a$ ,	$\mu\text{m}$	- amplitudni parametar hrapavosti – srednje aritmetičko odstupanje
$v$ ,	$\text{m/s}$	- brzina strujanja zraka
$v_{\text{max}}$ ,	$\text{m/s}$	- maksimalna brzina strujanja zraka na izlazu iz zračnih kanala
$v_{\text{min}}$ ,	$\text{m/s}$	- minimalna brzina strujanja zraka na izlazu iz zračnih kanala
$s$ ,	$\text{mm}$	- nazivna mjera
$L_S$ ,	$\text{mm}$	- stvarna (korigirana) debljina mjernog listića
$L_{Si}$ ,	$\text{mm}$	- izmjerena debljina mjernog listića
$\delta L_{Si}$ ,	$\mu\text{m}$	- utjecaj granične pogreške
$\delta L_T$ ,	$\mu\text{m}$	- utjecaj temperature
$\delta L_E$ ,	$\mu\text{m}$	- utjecaj elastične deformacije
$\delta L_A$ ,	$\mu\text{m}$	- utjecaj Abbe-ove pogreške
$\delta L_P$ ,	$\mu\text{m}$	- utjecaj nesuosnosti mjernih listića
$s(L_{Si})$ ,	$\mu\text{m}$	- standardno odstupanje jednog mjerenja
$u(L_{Si})$ ,	$\mu\text{m}$	- standardna nesigurnost za tri ponovljena mjerenja
$u(\delta L_{Si})$ ,	$\mu\text{m}$	- standardna nesigurnost granične pogreške
$L$ ,	$\text{m}$	- nazivna debljina mjernog listića
$t_M$ ,	$^{\circ}\text{C}$	- temperatura mjerne skale
$t_{EP}$ ,	$^{\circ}\text{C}$	- temperatura mjernog listića
$\Delta t_1$ ,	$^{\circ}\text{C}$	- rezlika temperature mjerne skale i mjernog listića
$u(\Delta t_1)$ ,	$^{\circ}\text{C}$	- standardna nesigurnost očitavanja razlike temperatura
$\alpha$ ,	$\text{K}^{-1}$	- koeficijent temperaturnog rastezanja
$u(\alpha)$ ,	$\text{K}^{-1}$	- standardna nesigurnost koeficijenta temperaturnog rastezanja
$u_c(\delta L_T)$ ,	$\mu\text{m}$	- sastavljena standardna nesigurnost temperaturne korekcije
$u(\delta L_E)$ ,	$\mu\text{m}$	- standardna nesigurnost elastične deformacije uslijed mjerne sile
$u(\delta L_P)$ ,	$\mu\text{m}$	- standardna nesigurnost zbog nesuosnosti
$u_c(L_S)$ ,	$\mu\text{m}$	- sastavljena standardna nesigurnost debljine mjernog listića
$U$ ,	$\mu\text{m}$	- linearizirana proširena mjerna nesigurnost
DIN		- Deutsches Institut für Normung, (njemački institut za norme)
LFSB		- Laboratorij za precizna mjerenja dužina
SIT		- Servizio di taratura in Italia-Torino (talijanski ovlašteni laboratorij)

- CT-FSB - Centro di taratura- Fakultet strojarstva i brodogradnje (umjerni centar ovlašten od strane SIT-a)
- INRIM - Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (talijanski nacionalni mjeriteljski institut)
- PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt (njemački nacionalni mjeriteljski institut)

## SAŽETAK

U prvom dijelu ovog Završnog rada opisana je djelatnost Laboratorija za precizna mjerenja dužina (s naglaskom na umjeravanju etalona i mjerila duljina), koja proizlazi iz preuzete obveze kao ovlaštenog mjeriteljskog laboratorija. Laboratorij je zadužen za čuvanje državnih etalona za duljinu, hrapavost i kut, te je ovlašten provoditi umjeravanja. U nastavku je dan naglasak na uvjete u pogledu smještaja i okoliša koje Laboratorij mora zadovoljavati kako bi mogao vršiti umjeravanja za koja je ovlašten.

U drugom dijelu je opisana namjena mjernih listića, te njihove konstrukcijske i tehničke karakteristike koje proizlaze iz vrijedeće DIN norme. Također u ovom dijelu Završnog rada dan je cjelokupni postupak provedenih mjerenja pomoću digitalnog mikrometra, digitalnog visinomjera i univerzalnog uređaja za mjerenje duljina, te usporedba na temelju odstupanja od nazivne mjere potkrijepljena tablicama i slikovnim prikazima.

U posljednjem dijelu je za odabranu mjernu metodu (umjeravanje pomoću univerzalnog uređaja za mjerenje duljina) opisana procedura za umjeravanje s proračunom za iskazivanje mjerne nesigurnosti.

# SADRŽAJ

1.	<b>UVOD</b>	4
2.	<b>DJELATNOSTI LABORATORIJA</b>	5
	2.1. PODRUČJE PRIMJENE	6
	2.2. UVJETI SMJEŠTAJA	8
	2.3. OKOLIŠNI UVJETI	11
	2.3.1. Temperatura	11
	2.3.2. Vlažnost	13
	2.3.3. Vibracije	13
	2.3.4. Buka	14
	2.3.5. Rasvjeta	14
	2.3.6. Protupožarna zaštita	14
	2.3.7. Sigurnosna zaštita	14
	2.3.8. Održavanje čistoće	14
	2.4. METODE UMJERAVANJA	15
	2.5. SLJEDIVOST	19
3.	<b>MJERNI LISTIĆI</b>	20
4.	<b>PROVEDENA MJERENJA</b>	24
	4.1. MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG MIKROMETRA	24
	4.2. MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG VISINOMJERA	27
	4.3. MJERENJE POMOĆU UNIVERZALNOG UREĐAJA ZA MJERENJE DULJINA	30
	4.4. USPOREDBA REZULTATA MJERENJA	32
5.	<b>POSTUPAK UMJERAVANJA</b>	49
	5.1. PODRUČJE PRIMJENE	49
	5.2. NORME I REFERENTNI DOKUMENTI	49
	5.3. PROVJERA CERTIFIKATA MJERNIH SREDSTAVA	49
	5.4. PRIPREMA ZA PROVEDBU UMJERAVANJA	49
	5.5. PRETHODNA ISPITIVANJA	49
	5.6. PROVEDBA UMJERAVANJA	50
	5.7. OBRADA I PRIKAZIVANJE REZULTATA	50
	5.8. PRORAČUN ZA ISKAZIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI	50
	5.8.1. Matematički model mjerenja	51

5.8.2. Ponovljivost.....	51
5.8.3. Granična pogreška.....	51
5.8.4. Temperaturna korekcija.....	52
5.8.5. Nesigurnost mjerenja rezlike temperatura.....	52
5.8.6. Nesigurnost linearnog koeficijenta temperaturnog rastezanja.....	51
5.8.7. Elastična deformacija uslijed mjerne sile.....	53
5.8.8. Abbe-ova pogreška.....	53
5.8.9. Nesigurnost zbog nesuosnosti mjernih ticala.....	53
5.8.10. Proširena mjerna nesigurnost.....	54
5.9. SLJEDIVOST.....	56
Privitak.....	57
6. <b>ZAKLJUČAK</b> .....	59
<b>LITERATURA</b> .....	60

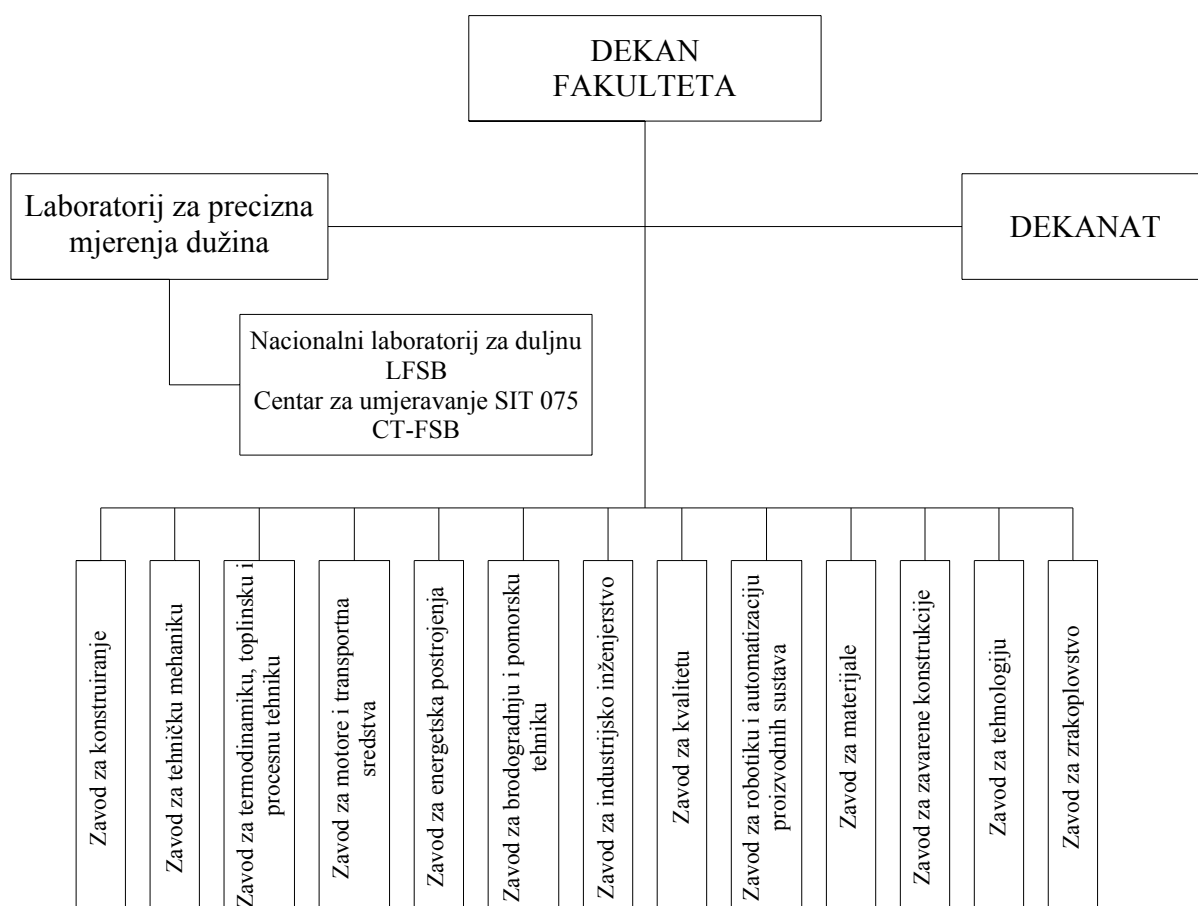


## **1. UVOD**

Svrha ovog Završnog rada je razrada postupka umjeravanja seta mjernih listića. Razradu postupka umjeravanja kao i sam postupak umjeravanja potrebno je provesti u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina. Laboratorij djeluje u okviru Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu čija je djelatnost opisana u točki 2. Sukladno ovlaštenjima Laboratorij čuva državne etalone za duljinu, kut i hrapavost, a na temelju akreditacije talijanskog ovlaštenog laboratorija (SIT) ovlašten je provoditi umjeravanja. U daljnjem tekstu uvjeti smještaja, metode umjeravanja i sljedivost na području umjeravanja etalona i mjerila duljina. Također u točki 3. opisana je upotreba mjernih listića, te njihove konstrukcijske i tehničke karakteristike prema DIN normi. Nadalje u tekstu su navedena i opisana provedena mjerenja. Naposljetku na temelju usporedbe rezultata mjerenja dobivenih na tri uređaja (digitalni mikrometar, digitalni visinomjer i univerzalni uređaj za mjerenje duljina) odabran je univerzalni uređaj za mjerenje duljina i za njega je razrađen postupak umjeravanja s proračunom mjerne nesigurnosti.

## 2. DJELATNOSTI LABORATORIJA

Fakultet strojarstva i brodogradnje (FSB) je kao pravna osoba registriran za aktivnosti LFSB-a (Laboratorij za precizna mjerenja dužina) prema MBS: 3276546 sudskog registra Trgovačkog suda u Zagrebu. Laboratorij za precizna mjerenja dužina je ujedno i nacionalni laboratorij za duljinu, što znači da ima zadaću održavanja, prezentiranja i prenošenja vrijednosti s državnih etalona za duljinu, kut i hrapavost. Također kao ovlaštenu mjeriteljski laboratorij ima zadaću čuvanja mjeriteljske infrastrukture u zemlji, temeljem certifikata umjeravanja od drugog ovlaštenog laboratorija (SIT). Organizacijska struktura Fakulteta strojarstva i brodogradnje prikazana je na slici 1.



Slika 1. Organizacijska struktura Fakulteta strojarstva i brodogradnje [1]

## 2.1. PODRUČJE PRIMJENE

Priručnikom o kvaliteti definira se sustav upravljanja kvalitetom u LFSB-u za sveukupnu djelatnost Laboratorija. Sustav se striktno primjenjuje na djelatnosti Laboratorija određene sljedećim dokumentima (ovlaštenjima):

Rješenje Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo o prihvatanju Referentne garniture planparalelnih graničnih mjerki za državni etalon za duljinu Zagreb, 31. kolovoza 2000. (KLASA: 406-09/89-01/01, URBROJ: 558-03/3-00-3). Rješenje o dopuni rješenja o prihvatanju etalona za državni etalon za duljinu Zagreb, 01. prosinca 2006. (KLASA: 960-03/06-06/2, URBROJ: 558-06/30-06/2).[1]

Rješenje Državnog zavoda za mjeriteljstvo o prihvatanju etalona za državne etalone za hrapavost Zagreb, 07. ožujka 2007. (KLASA: 406-05/06-02/5, URBROJ: 558-04/1-07-78).[1]

Akreditacija Centra za umjeravanje (CT-FSB) od strane SIT-a (Servizio di taratura in Italia-Torino) za područja hrapavosti i duljine. [1]

Državni etalon za duljinu sastoji se od:

1. 121 planparalelne granične mjerke, duljine od 0,5 mm do 100 mm, proizvođača MAHR, model 409, serijski broj 908973;
2. Pet dugih planparalelnih graničnih mjerki, duljine od 125 mm do 250 mm, proizvođača Johansson, serijski broj 900061;
3. Tri duge planparalelne granične mjerke, duljine od 300 mm do 700 mm, proizvođača Koba, serijski broj 86298;
4. Dva mjerna prstena nazivnih promjera Ø13,9983 mm i Ø50,0004 mm, proizvođača, Joint, serijski broj NO 0313;
5. Precizne staklene mjerne skale, duljine 100 mm, proizvođača NPL, serijski broj SM.

Državni etaloni za hrapavost sastoje se od slijedećih komponenata:

1. Etalon hrapavosti  $R_a = 0,42 \mu\text{m}$ ; proizvođača MAHR-Perthen; serijski broj 6453; vrsta: Tip C s valovitim brazdama; materijal: staklo;
2. Etalon hrapavosti  $R_a = 0,810 \mu\text{m}$ ; proizvođača LFSB-RIZ; serijski broj 0-6; vrsta: Tip C s pravokutnim brazdama; materijal: monokristal silicija sa slojem  $\text{SiO}_2$ ;
3. Etalon hrapavosti  $R_a = 1,878 \mu\text{m}$ ; proizvođača LFSB-RIZ; serijski broj 0-8; vrsta: Tip C s pravokutnim brazdama; materijal: monokristal silicija sa slojem  $\text{SiO}_2$ .

Sukladno akreditaciji SIT-a Laboratorij je ovlašten provoditi umjeravanja prema tablici 1.

Tablica 1. Umjeravanja ovlaštena od strane SIT-a [1]

Mjerno sredstvo	Mjerno područje	Mjerna nesigurnost
Mjerni uređaji i etaloni za ispitivanje hrapavosti	$R_a = (0,008-30) \mu\text{m}$ $R_v = R_z = (0,025-100) \mu\text{m}$	5% 8%
Planparalelne granične mjerke	(0,5-100) mm	(0,05 + 1,1L) $\mu\text{m}$
Štapni kontrolnik	do 500 mm	(0,6 + 11,5L) $\mu\text{m}$
Granična mjerila za unutarnji paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	-	3,026 $\mu\text{m}$
Granična mjerila za vanjski paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	-	3,52 $\mu\text{m}$
Pomična mjerila	do 1000 mm	(10 + 9L) $\mu\text{m}$
Mikrometar za vanjska mjerenja	do 500 mm	(1,2 + 5L) $\mu\text{m}$
Štapni mikrometri	do 3000 mm	(1,6 + 8,5L) $\mu\text{m}$
Trokraki mikrometri	do 125 mm	(1,5 + 4L) $\mu\text{m}$
Visinomjer	do 1000 mm	(10 + 9L) $\mu\text{m}$
Dubinomjer	do 700 mm	(7 + 8L) $\mu\text{m}$
Kontrolni prsteni i granična mjerila za osovinu	od 8 mm do 150 mm	(0,6 + 0,7L) $\mu\text{m}$
Granična mjerila za provrte	do 200 mm	1 $\mu\text{m}$
Mjerna ura	do 100 mm	(3 + 1,5L) $\mu\text{m}$
Komparator	do 1 mm	0,7 $\mu\text{m}$
Duge planparalelne granične mjerke	od 100 mm do 500 mm	(0,17 + 1,2L) $\mu\text{m}$

Napomene:

Mjerna nesigurnost iskazana je uz interval povjerenja od 95%.

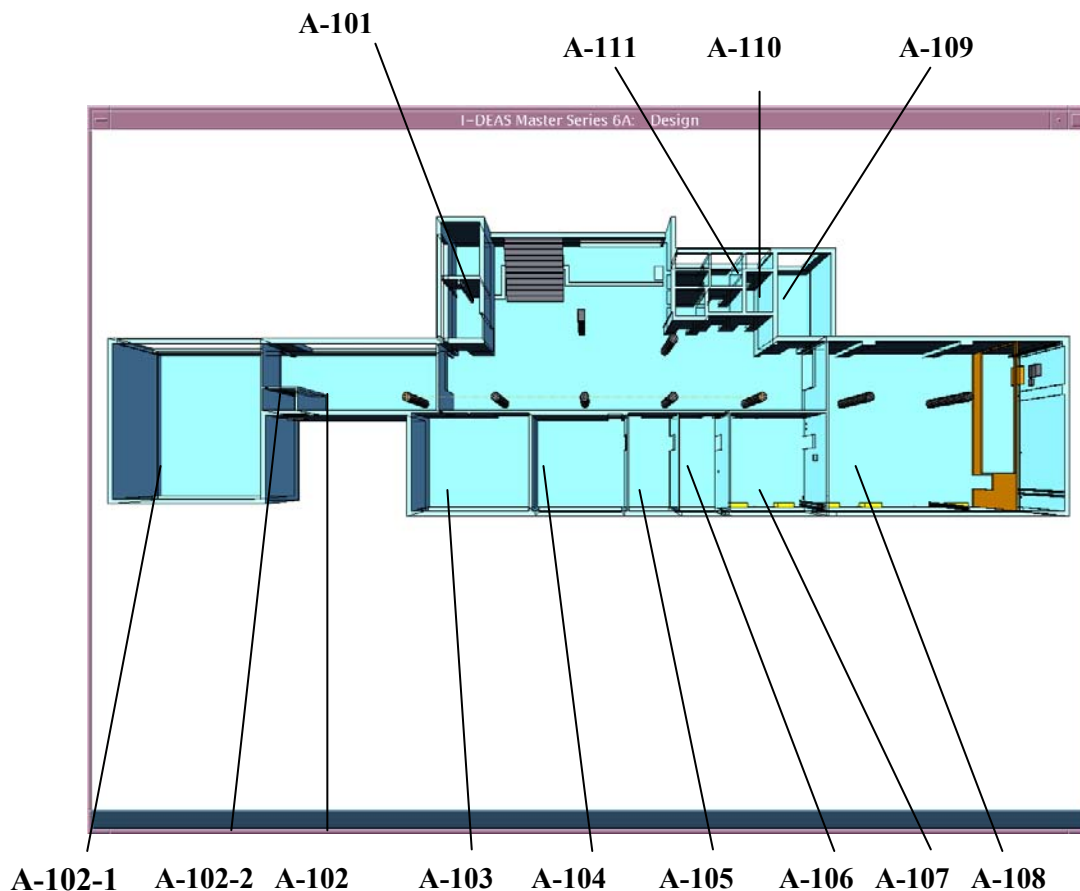
Vrijednosti mjerene veličine L su u metrima

Na mjestima u Laboratoriju gdje se provodi umjeravanje akreditirano od SIT-a, istaknut je natpis: „SIT UMJERAVANJE“, također za provedena umjeravanja izdaju se certifikati sa znakom SIT-a.

## 2.2. UVJETI SMJEŠTAJA

Laboratoriji za precizna mjerenja dužina (LFSB) nalazi se u niskom prizemlju sjeverne zgrade Fakulteta strojarstva i brodogradnje, koja je smještena u ulici Ivana Lučića 1, u Zagrebu. LFSB posjeduje jedanaest prostorija ukupne površine 349,2 m<sup>2</sup> čiji je raspored prikazan na slici 2.

1. A-102, 102-1, 102-2 –površina 96,7 m<sup>2</sup>
2. A-101 –površina 13,8 m<sup>2</sup>
3. A-103 –površina 31,8 m<sup>2</sup>
4. A-104 –površina 26,0 m<sup>2</sup>
5. A-105 –površina 13,7 m<sup>2</sup>
6. A-106 –površina 13,7 m<sup>2</sup>
7. A-107 –površina 25,5 m<sup>2</sup>
8. A-108 –površina 102,8 m<sup>2</sup>
9. A-109 –površina 12,0 m<sup>2</sup>
10. A-110 –površina 4,5 m<sup>2</sup>
11. A-111 –površina 8,9 m<sup>2</sup>

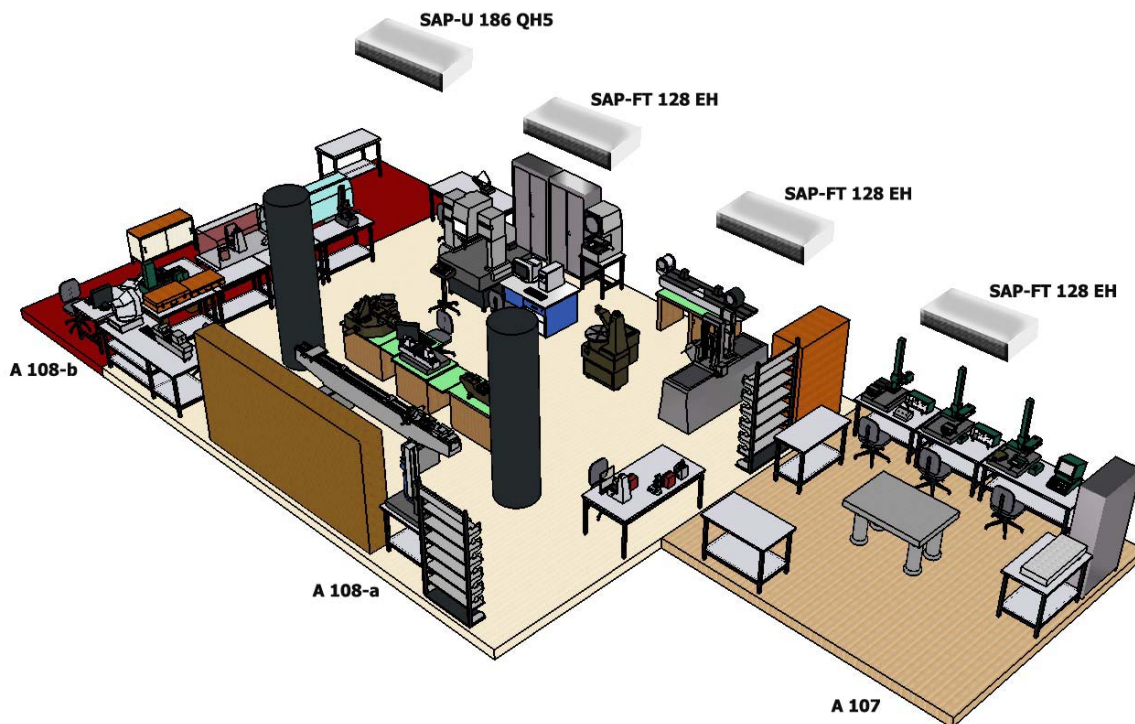


Slika 2. Raspored prostorija u LFSB [1]

Instrumenti i mjerni uređaji u mjeriteljskim prostorijama Laboratorija razmješteni su prema područjima mjerenja, odnosno prema uvjetima smještaja i okoliša koje pojedina metoda mjerenja zahtjeva.

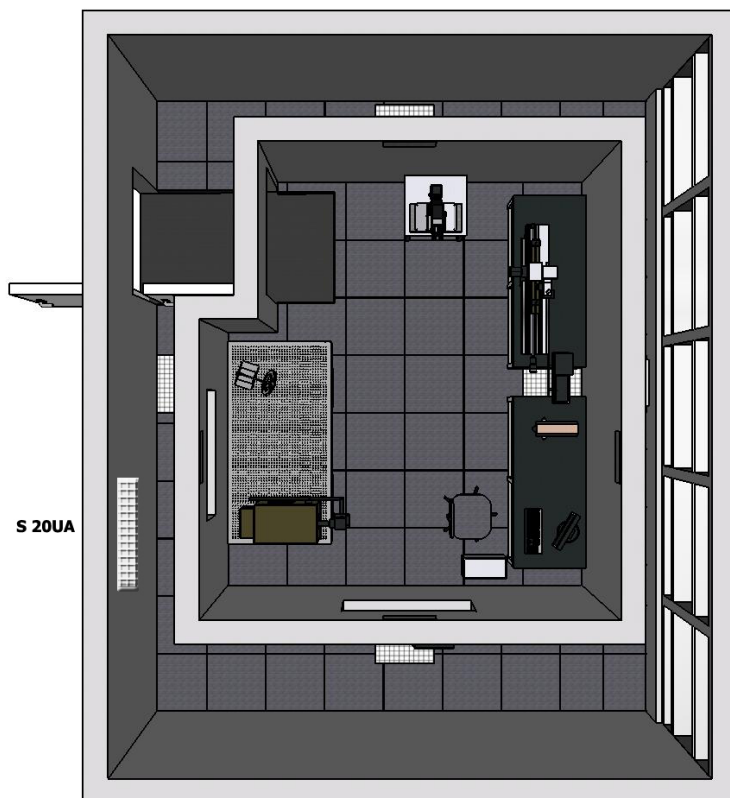
Stakleni prozori smješteni su na južnom zidu i u potpunosti su zaštićeni metalnim zakretnim roletama. Na taj se način stvara zračni tunel koji prirodno klimatizira prostor Laboratorija, te je prepreka vanjskim toplinskim zračenjima. Klimatizirane prostorije Laboratorija, gdje su instrumenti i mjerni uređaji, mjeriteljske su prostorije A-107, A-108-a, A-108-b i A-103. Mjeriteljske prostorije A-107 i A-108-a odvojene su zidom s vratima, a mjeriteljske prostorije A-108-a i A-108-b odvojene su staklenom pregradom. Mjeriteljska prostorija A-103 je temeljima odvojena od zgrade i unutar prostorije postoji posebno ograđen mjeriteljski prostor. Namijenjena je interferometriji (nanomjeriteljstvo), pa je potreban poseban nadzor

mikroklima. Na slici 3. prikazan je raspored klima-uređaja u mjeriteljskim prostorijama A-107, A-108-a i A-108-b.



Slika 3. Raspored klima-uređaja u mjeriteljskim prostorijama LFSB-a [1]

Mjeriteljske prostorije A-107 i A-108-a klimatizirane su uređajima proizvođača SANYO, tipa SAP-FT 128 EH (unutarnja jedinica) i SAP-C 128 EH (vanjska jedinica), rashladnog učina 3350 W i ogrjevnog učina 3900 W. Brzina strujanja zraka u zoni boravka (do 1,6 m iznad poda) ne prelazi vrijednost od  $v=0,2$  m/s. Smjer strujanja zraka može se u horizontalnom smjeru podešavati ručno, a u vertikalnom smjeru podešava se automatski. Mjeriteljska prostorija A-108-b klimatizirana je uređajima proizvođača SANYO, tipa SAP-U186 QH5 (unutarnja jedinica) i SAP-C 186 QH5N (vanjska jedinica), rashladnog učina 4950 W i ogrjevnog učina 6000 W. Unutarnja jedinica SAP-U 186 QH5 pomoću dva kanala upuhuje zrak u prostoriju. Brzine strujanja na izlazu iz zračnih kanala su  $v_{\max}=0,84$  m/s i  $v_{\min}=0,66$  m/s. Mjeriteljska prostorija A-103 klimatizirana je uređajem proizvođača Liebert HIROSS model S 20UA rashladnog učina od 11000 W i ogrjevnog učina od 12500 W. Prostorija je izvedena kao soba u sobi radi što boljeg održavanja uvjeta mikroklima. Na slici 4. prikazan je položaj klima-uređaja u mjeriteljskoj prostoriji A-103.



Slika 4. Položaj klima-uređaja u mjeriteljskoj prostoriji A-103 [1]

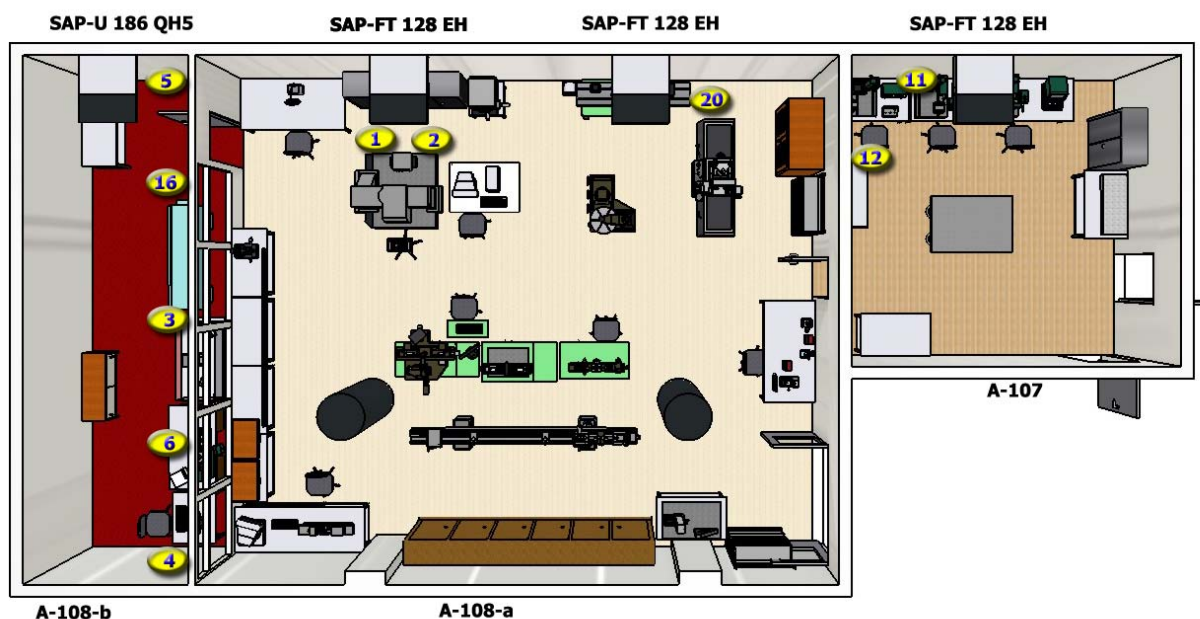
## 2.3. OKOLIŠNI UVJETI

Kako bi rezultati mjerenja i potvrde o umjeravanju koje izdaje Laboratorij bile pouzdane, u Laboratoriju moraju biti zadovoljeni standardni mjeriteljski uvjeti.

### 2.3.1. Temperatura

Temperatura u laboratorijskim prostorijama A-107 i A-108 kontrolira se u automatskim sustavom za mjerenje temperature pomoću deset temperaturnih senzora. Razmještaj temperaturnih senzora prikazan je na slici 5.





Slika 5. Razmještaj temperaturnih senzora u mjeriteljskim prostorijama LFSB-a [1]

Ako se ukaže potreba, postoji mogućnost grafičkog prikaza kretanja temperatura za svih deset mjernih mjesta u Laboratoriju za bilo koje razdoblje unutar zadnjih pet godina. U mjeriteljskim prostorijama A-107 i A-108-a moguće je temperaturu održavati u granicama  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , dok je u mjeriteljskim prostorijama A-108-b i A-103 u granicama od  $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3.2. Vlažnost

Relativna vlažnost prati se samo u mjeriteljskoj prostoriji A-103 gdje se provode mjerenja visoke razine točnosti (interferometrija). Relativna vlažnost u prostoriji A-103 kreće se u granicama od  $58\% \pm 0,5\%$ .

### 2.3.3. Vibracije

Rezultati jednogodišnjeg znanstvenog istraživanja vibracija provedenog u laboratorijskim prostorijama A-107 i A-108 pokazali su da su prisutne vibracije seizmičkog porijekla, pretežno frekvencije 2,7-3,0 Hz. U 95% slučajeva trenutne vrijednosti amplituda nisu prelazile granicu od  $0,4 \cdot 10^{-6}$  m. U prostoriji A-103 ugrađen je „plivajući pod“, a noge stolova na kojima su smješteni mjerni uređaji ukopani su u temelje zgrade kako bi se u što većoj mjeri umanjio utjecaj vibracija.

#### 2.3.4. Buka

Jedini izvor buke u Laboratoriju su klima-uređaji čija jačina ne prelazi 44 dB.

#### 2.3.5. Rasvjeta

U svim prostorijama laboratorija ostvareno je hladno osvjetljenje intenziteta 500-700 Lx.

#### 2.3.6. Protupožarna zaštita

U prostorijama Laboratorija stalno su na raspolaganju dva CO<sub>2</sub> uređaja za gašenje proizvođača „Pastor“, zapremine 7 l i tlaka 200 bar, sukladno pravilima zaštite i sigurnosti na Fakultetu.

#### 2.3.7. Sigurnosna zaštita

LFSB je zaštićen alarmnim sustavom PC 1565 2P. Korisničke šifre raspodjeljenje su isključivo među djelatnicima Laboratorija. U slučaju nasilnog ulaska u prostorije Laboratorija alarm se aktivira, a informacija o tome se prenosi voditelju Laboratorija preko mobilnog telefona. Voditelj Laboratorija po primitku informacije poduzima potrebne akcije. Za vrijeme rada Laboratorija alarmni sustav je deaktiviran, a u prostorije Laboratorija mogu ući samo djelatnici LFSB-a temeljem kodiranih kartica.

#### 2.3.8. Održavanje čistoće

Sve prostorije LFSB-a čiste se svaki radni dan od 7 do 8 sati, prije početka radnih aktivnosti Laboratorija. Sredstva koja se koriste za potrebe održavanja čistoće moraju imati deklaraciju o neškodljivosti na zdravlje ljudi i na funkcionalnost opreme. Prostorije LFSB-a čiste se isključivo nezapaljivim sredstvima, što mora biti vidljivo iz sadržaja deklaracije proizvoda. Neposredno prije godišnjih odmora, za vrijeme prekida svih radnih aktivnosti u Laboratoriju, prostorije se podvrgavaju temeljitom čišćenju, a mjerna oprema pokriva se lanenim pokrivačima. Strogo je zabranjeno u prostorijama Laboratorija pušenje, te konzumiranje svih vrsta jela i pića.

Ukoliko se temeljem praćenja okolišnih uvjeta utvrdi odstupanje od definiranih granica, voditelj Laboratorija prekida sve radne aktivnosti u Laboratoriju, po uklanjanom odstupanju voditelj Laboratorija donosi odluku o nastavku rada u Laboratoriju.

## 2.4. METODE UMJERAVANJA

Sva umjeravanja u Laboratoriju provode se sukladno odgovarajućim dokumentiranim postupcima umjeravanja. Postupci su izrađeni u skladu sa zahtjevima odgovarajuće dokumentacije vanjskog porijekla (norme, upute proizvođača mjerne opreme i dr.). LFSB osigurava uporabu važećih izdanja normi. Svi pisani postupci pohranjeni su na za njih predviđeno mjesto i lako su dostupni osoblju Laboratorija. Eventualno odstupanje od propisanih postupaka mora ovlastiti i dokumentirati voditelj Laboratorija samo u slučaju kada je odstupanje tehnički opravdano. U svakom dokumentiranom postupku detaljno je razrađen proračun mjerne nesigurnosti sukladno dokumentu ISO GUM. U slučaju kada priroda metode umjeravanja ne dozvoljava stroge metrologijski i statistički valjane izračune mjerne nesigurnosti, navode se i utvrđuju sve sastavnice nesigurnosti i vrši razumna procjena mjerne nesigurnosti. Tako procijenjenu mjernu nesigurnost LFSB potvrđuje kroz usporedbena mjerenja s drugim umjernim laboratorijima iste ili više razine točnosti. Temeljne odrednice metoda umjeravanja, sukladno akreditaciji od strane SIT-a, prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Metode umjeravanja sukladno akreditaciji od strane SIT-a [1]

Predmet umjeravanja	Metoda	Mjerno sredstvo	Mjerna nesigurnost	Primjedba
Planparalelne granične mjerke od 0,5 mm do 100 mm	Usporedbena	Uređaj za diferencijsko mjerenje „MAHR 826“  Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Klasa K (GMD 14-359) Državni etalon	$(0,05 + 1,1L)$ $\mu\text{m}$ L u m	Samo za etalone od čelika
Duge planparalelne granične mjerke	Usporedbena	Univerzalni uređaj za mjerenje duljina (MU 44-421)	$(0,17 + 1,2 L)$ $\mu\text{m}$	

		Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 15-439, GMD 6-229, GMD 8-231)		
Radni etaloni hrapavosti Tip A, B, C, D	Usporedbena	<p>Uređaj s ticalom Perthometer S8P</p> <p>Referentni etaloni hrapavosti LFSB (RET 132-280)</p> <p>Radni etalon hrapavosti LFSB Tip C (RET 134-282)</p>	<p>5% za <math>R_a=(0,008\div30) \mu\text{m}</math></p> <p>8% za <math>R_y, R_z=(0,025 \div 100) \mu\text{m}</math></p>	
Uređaj za ispitivanje hrapavosti	Direktna	<p>Referentni etaloni hrapavosti LFSB (RET 132-280)</p> <p>Radni etalon hrapavosti LFSB Tip C (RET 134-282)</p>	$U = 2\sqrt{u_r^2 + u_e^2}$	
Štapni kontrolnik	Direktna	<p>Univerzalni uređaj za mjerenje duljina do 3 m (MU 30-302)</p> <p>Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227)</p>	$(0,6 + 11,5 L) \mu\text{m}$	
Kontrolni prsteni i granična mjerila za osovinu	Direktna	<p>Univerzalni uređaj za mjerenje duljina (MU 44-421)</p> <p>Etalonski prsteni (RET 180-425, RET 179-424)</p>	$(0,6 + 0,7L) \mu\text{m}$	
Granična mjerila za provrte	Direktna	<p>Univerzalni uređaj za mjerenje duljina (MU 44-421)</p> <p>Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227)</p>	$1 \mu\text{m}$	
Granična mjerila za unutarnji paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	Direktna	<p>Univerzalni uređaj za mjerenje duljina (MU 44-421)</p> <p>Univerzalni mjerni mikroskop (MU 1-126)</p>	$3,026 \mu\text{m}$	
Granična mjerila	Direktna	Trokoordinatni mjerni	$3,52 \mu\text{m}$	

za vanjski paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom		uređaj (MU 44-421)  Univerzalni uređaj za mjerenje duljina (MU 44-421)		
Mikrometar za vanjska mjerenja	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227, GMD 12-356)	(1,2 + 5L) $\mu\text{m}$	
Štapni mikrometri	Direktna	Univerzalni uređaj za mjerenje duljina (MU 44-421) Univerzalni mjerni uređaj za mjerenje duljina do 3 m (MU 30-302) Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227, GMD 12-356) Mjerna ploča (KUT 22-460)	(1,6 + 8,5L) $\mu\text{m}$	
Trokraki mikrometri	Direktni	Niz kontrolnih prstena (RET 50-130...RET 116-223)	(1,5 + 4L) $\mu\text{m}$	
Pomična mjerila	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227)	(10 + 9L) $\mu\text{m}$	
Visinomjer	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227) Mjerna ploča (KUT 22-460)	(10 + 9L) $\mu\text{m}$	
Dubinomjer	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227, GMD 16-442, GMD 12-356) Mjerna ploča (KUT 22-460)  Uređaj za ispitivanje mjernih ura (MU 5-181)  Univerzalni uređaj za mjerenje duljina (MU 44-421)	(7 + 8L) $\mu\text{m}$	
Mjerna ura	Direktna	Uređaj za ispitivanje mjernih ura (MU 5-181)	(3 + 1,5 L) $\mu\text{m}$	

		Univerzalni uređaj za mjerjenje duljina (MU 44- 421) Garnitura planparalelnih graničnih mjerki (GMD 4-227)		
Komparator	Direktna	Uređaj za ispitivanje mjernih ura (MU 5-181)  Elektronski komparator (MU 15-191)	0,7 μm	

Za prikupljanje, obradu, bilježenje, prikazivanje u izvještajima, pohranjivanje i pronalaženje podataka o umjeravanju LFSB koristi isključivo komercijalne programske pakete legalnog porijekla. Za automatizirane mjerne uređaje s instaliranim softwerom na principu „crne kutije“, validacija softwera provodi se korištenjem alternativnih mjernih metoda unutar Laboratorija ili sudjelovanjem u međulaboratorijskim usporedbenim mjerenjima. Automatizirani uređaji i računala održavaju se sukladno uputama proizvođača i dokumentiranim postupcima LFSB-a. Kontroliranim okolišnim uvjetima osigurava se vjerodostojnost mjernih podataka.

## 2.5. SLJEDIVOST

„Svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti kojeg etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem usporedbi koje imaju utvrđene mjerne nesigurnosti“.[2] Osiguravanje sljedivosti u postupcima umjeravanja kod kojih se koristi državni etalon duljine prikazan je na slici 6.

Mjesto umjeravanja	Metoda umjeravanja	Etalon	Mjerna nesigurnost U(L) k=2, P=95 %	Certifikat umjeravanja
INRIM, PTB,...	Mjerenje interferencijskom metodom prema ISO 3650	<b>Državni etalon</b> (GMD 14-359)	$(0,02+0,3 L)\mu\text{m}$ L u m	Certifikat umjeravanja INRIM
LFSB (CT-FSB)	Mjerenje usporedbenom metodom prema ISO 3650	Uređaj za diferencijsko mjerenje graničnih mjerki "Mahr 826" (MU 36 - 348)	$(0,05+1,1 L)\mu\text{m}$ L u m	LFSB Izvešće o umjeravanju
		<b>Usporedbena metoda</b>  Za potrebe međunarodnih usporedbenih mjerenja (ISO 3650)  Garnitura planparalelnih graničnih mjerki, (ISO 3650) (GMD 11-351, GMD 8-231, GMD 6-229, GMD 4-227)		LFSB-SIT Certifikat umjeravanja
LFSB (CT-FSB)	Mjerenje usporedbenom metodom prema ISO 3650	Uređaj za diferencijsko mjerenje graničnih mjerki "Mahr 826E" (MU 36 - 348)  <b>Usporedbena metoda</b>  Garnitura planparalelnih graničnih mjerki, Klasa 0, 1 i 2 (ISO 3650) za vanjskog korisnika	$(0,08+1,6 L)\mu\text{m}$ L u m	LFSB-SIT Certifikat umjeravanja

Slika 6. Osiguravanje sljedivosti za duljinu (planparalelne granične mjerke od 0,5 mm do 100 mm) u LFSB [1]

### 3. MJERNI LISTIĆI

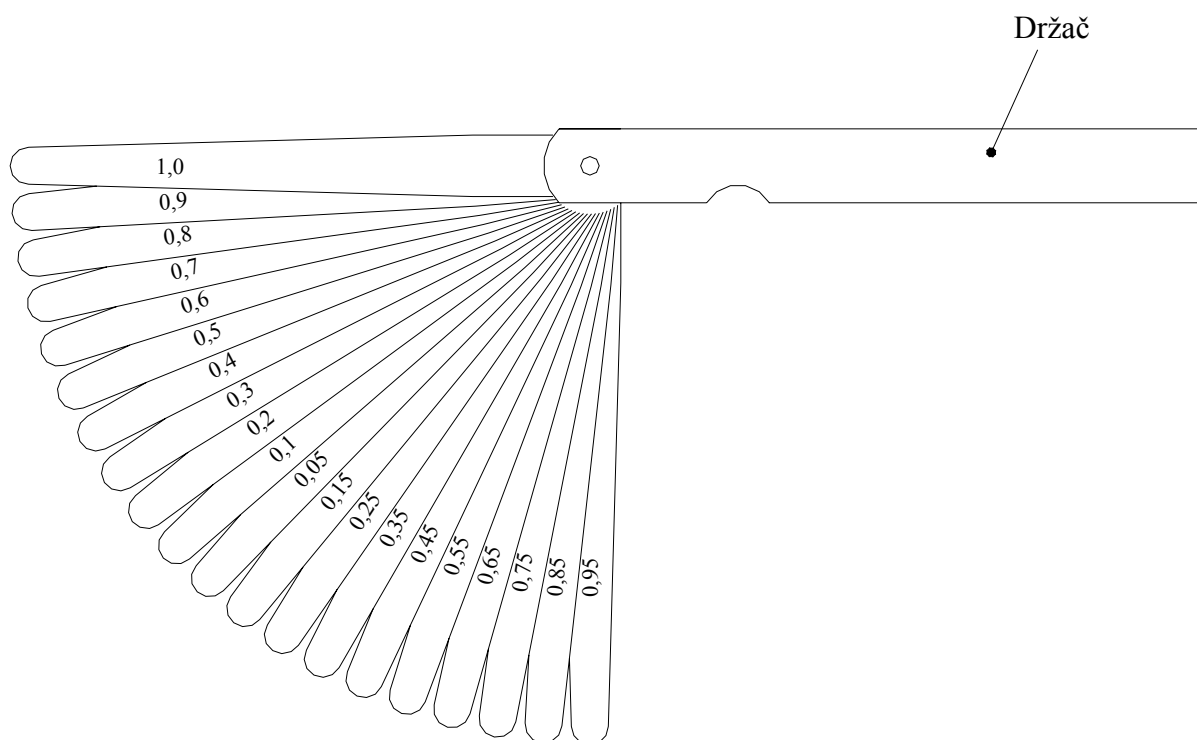
Mjerni listići koriste se za mjerenje zazora. Sukladno odgovarajućoj normi DIN 2275 mjerni listići se slažu u garniture različitih mjernih područja, a jedna takva je prikazna na slici 7.



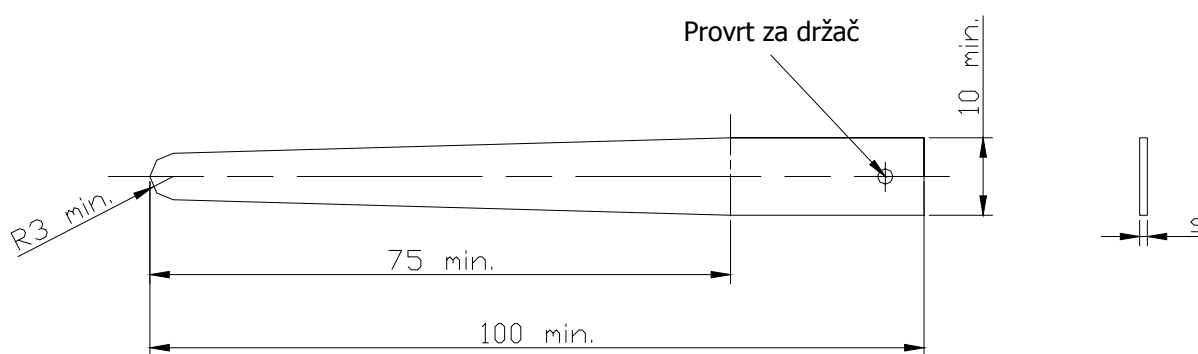
Slika 7. Set mjernih listića [3]

Konstruktivske i tehničke karakteristike mjernih listića nalaze se u okviru norme DIN 2275, a njihov prikaz se nalazi na slikama 8. i 9; te u tablici 3. U normi je propisano da se mjerni listići kao i držač izrađuju iz čelika čija tvrdoća mora biti najmanje  $420 \pm 50$  HV 5. Svaki mjerni listić na sebi sadrži utisnutu nazivnu mjeru (s). Mjerni listići se slažu u set na način da se listići najmanje nazivne mjere (debljine) stavljaju u sredinu snopa kako bi se zaštitili od mehaničkog oštećivanja prilikom rukovanja (slika 8.). Na slici 9. je prikazan jedan mjerni listić sa propisanim minimalnim dimenzijama prema DIN 2275.





Slika 8. Set mjernih listića prema DIN 2275 [4]



Slika 9. Dimenzije mjernog listića prema DIN 2275 [4]

U tablici 3. su prikazane nazivne mjere, te dopuštena odstupanja prema pripadajućoj normi. Prema normi nazivne mjere se kreću od 0,03 mm do 2 mm i postoji pet vrsta setova mjernih listića koji su označeni slovima od A do E.

Set mjernih listića oznake DIN 2275-A se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,05 mm do 0,5 mm i sadrži 8 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Set mjernih listića oznake DIN 2275-B se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,03 mm do 0,5 mm i sadrži 14 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Set mjernih listića oznake DIN 2275-C se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,05 mm do 1,0 mm i sadrži 13 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Set mjernih listića oznake DIN 2275-D se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,05 mm do 1,0 mm i sadrži 20 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu, također taj set je prikazan na slici 8 i na njemu sam provodio mjerenja. Set mjernih listića oznake DIN 2275-E sastoji se od mjernih listića nazivne mjere od 0,1 mm do 2,0 mm i sadrži 20 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Vrijednosti za dopuštено odstupanje od nazivne mjere koje se nalaze u tablici 3. se računaju prema formuli:  $\pm (3+s/80)$ , nazivna mjera (s) se unosi u  $\mu\text{m}$ . Nadalje u normi stoji kako treba biti oprezan sa korištenjem više mjernih listića umjesto onog dotične nazivne mjere (pr. umjesto listića od 0,5 mm uzmemo jedan od 0,2 mm i jedan od 0,3 mm, te ih spojimo) jer će im odstupanje od nazivne mjere biti veće nego pri korištenju traženog listića.

Tablica 3. Dopuštena odstupanja mjernih listića prema DIN 2275 [4]

Nazivna mjera s (mm)	Dopušteno odstupanje ( $\mu\text{m}$ )	A	B	C	D	E
0,03	$\pm 3$		X			
0,04			X			
0,05		X	X	X	X	
0,06			X			
0,07	$\pm 4$		X			
0,08			X			
0,09			X			
0,1		X	X	X	X	X
0,15	$\pm 5$	X	X	X	X	
0,2	$\pm 6$	X	X	X	X	X
0,25		X	X	X	X	
0,3	$\pm 7$	X	X	X	X	X
0,35					X	
0,4	$\pm 8$	X	X	X	X	X
0,45					X	
0,5	$\pm 9$	X	X	X	X	X
0,55					X	
0,6	$\pm 11$			X	X	X
0,65					X	
0,7	$\pm 12$			X	X	X
0,75					X	
0,8	$\pm 13$			X	X	X
0,85					X	
0,9	$\pm 14$			X	X	X
0,95					X	
1,0	$\pm 16$			X	X	X
1,1	$\pm 17$					X
1,2	$\pm 18$					X
1,3	$\pm 19$					X
1,4	$\pm 21$					X
1,5	$\pm 22$					X
1,6	$\pm 23$					X
1,7	$\pm 24$					X
1,8	$\pm 26$					X
1,9	$\pm 27$					X
2,0	$\pm 28$					X

## 4. PROVEDENA MJERENJA

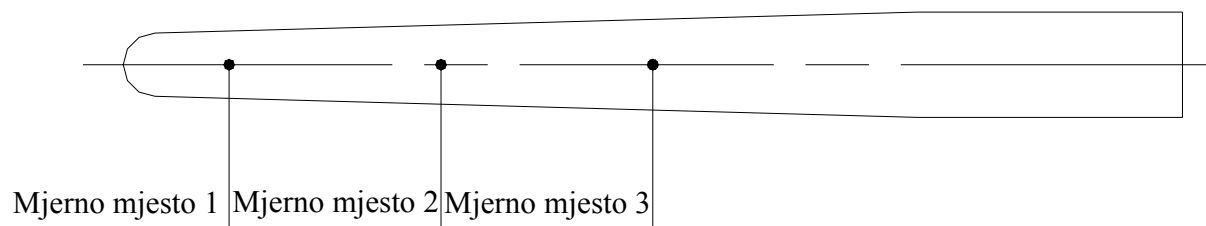
Kako je moj zadatak bio da razradim postupak za umjeravanje seta mjernih listića optimalnom mjernom metodom, bilo je potrebno provesti mjerenja pomoću više mjernih uređaja, te na osnovu dobivenih rezultata odabrati optimalni. U tablici 4. su navedena korištena mjerna sredstva i pomagala.

Tablica 4. Mjerna sredstva i pomagala

Mjerno sredstvo	Proizvođač	Oznaka	Mjerno područje	Rezolucija
Digitalni mikrometar	Mitutoyo	MV 30-456	$(0 \div 25) \text{ mm}$	0,001 mm
Digitalni visinomjer	Mitutoyo	MU 45-422	$(0 \div 600) \text{ mm}$	0,0001 mm
Univerzalni uređaj za mjerenje duljina	Joint Instruments	MU 44-421	$(0 \div 450) \text{ mm}$	0,01 $\mu\text{m}$
Stezna naprava	Mahr	OST 30-437	-	-

### 4.1. MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG MIKROMETRA

Prvo što sam utvrdio je postojanje identifikacijske oznake seta mjernih listića (RET 211-488), a nakon toga je uslijedio vizualni pregled listića kojim je utvrđeno da nema vidljivih mehaničkih oštećenja. Potom je bilo potrebno pripremiti mjerne površine kako samih mjernih listića tako i uređaja (ravna ticala) ) kojim vršimo mjerenje. To je učinjeno pomoću medicinskog benzina i pamučne vate i čiste krpe. Prije nego što započnemo mjeriti potrebno je mikrometar dovesti u nulti položaj (pozicija kada se na displeju pokaže 0,000 pritisnemo tipku „zero“) i podesiti nulu. Uređaj podešavamo na nulu nakon svakog izmjenjenog listića. Mjerenje se provodi na tri mjesta na mjernom listiću kako je naznačeno na slici 10. Mjerna mjesta se nalaze u „aktivnom“ dijelu listića, onom kojeg najviše koristimo u eksploataciji. Mjerenja na samom vrhu treba izbjegavati jer postoji opasnost da je oštećen, a također i mjerenje desno od mjernog mjesta 3 (slika 10) (približno pola ukupne duljine mjernog listića) nije potrebno provoditi jer se taj dio listića nalazi u snopu ili ga držimo prstima prilikom korištenja. Na slikama 11. (a i b) je prikazan postupak mjerenja.



Slika 10. Prikaz mjernih mjesta



a)



b)

Slika 11. Mjerenje pomoću digitalnog mikrometra

U tablici 5. su navedeni rezultati mjerenja dobiveni pomoću digitalnog mikrometra. Također je iz tablice 5. vidljivo da su sva odstupanja od nazivne mjere unutar granica dopuštenog odstupanja prema normi DIN 2275.

Tablica 5. Rezultati mjerenja na digitalnom mikrometru

Rezultati umjeravanja seta mjernih listića na digitalnom mikrometru						
Nazivna mjera (mm)	Očitana vrijednost (mm)			Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere ( $\mu\text{m}$ )	Dopušteno odstupanje po DIN 2275 ( $\mu\text{m}$ )
<b>0,05</b>	0,049	0,05	0,05	0,049666667	-0,3	$\pm 3$
<b>0,10</b>	0,102	0,1	0,102	0,101333333	1,3	$\pm 4$
<b>0,15</b>	0,154	0,155	0,156	0,155	5	$\pm 5$
<b>0,20</b>	0,197	0,199	0,196	0,197333333	-2,7	$\pm 6$
<b>0,25</b>	0,255	0,253	0,253	0,253666667	3,7	$\pm 6$
<b>0,30</b>	0,298	0,297	0,297	0,297333333	-2,7	$\pm 7$
<b>0,35</b>	0,348	0,348	0,353	0,349666667	-0,3	$\pm 7$
<b>0,40</b>	0,399	0,398	0,398	0,398333333	-1,7	$\pm 8$
<b>0,45</b>	0,447	0,448	0,453	0,449333333	-0,7	$\pm 8$
<b>0,50</b>	0,491	0,49	0,496	0,492333333	-7,7	$\pm 9$
<b>0,55</b>	0,553	0,557	0,557	0,555666667	5,7	$\pm 9$
<b>0,60</b>	0,597	0,599	0,606	0,600666667	0,7	$\pm 11$
<b>0,65</b>	0,658	0,658	0,661	0,659	9	$\pm 11$
<b>0,70</b>	0,7	0,701	0,701	0,700666667	0,7	$\pm 12$
<b>0,75</b>	0,745	0,747	0,745	0,745666667	-4,3	$\pm 12$
<b>0,80</b>	0,799	0,801	0,81	0,803333333	3,3	$\pm 13$
<b>0,85</b>	0,852	0,856	0,858	0,855333333	5,3	$\pm 13$
<b>0,90</b>	0,897	0,901	0,908	0,902	2	$\pm 14$
<b>0,95</b>	0,95	0,95	0,954	0,951333333	1,3	$\pm 14$
<b>1,00</b>	0,993	0,995	1,001	0,996333333	-3,7	$\pm 16$

## 4.2. MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG VISINOMJERA

Zbog toga što sam mjerenja vršio jedno za drugim (kako ih i navodim u tekstu) u kratkom vremenu nije bilo potrebe za detaljnim čišćenjem mjernih listića ili za ponovnim utvrđivanjem eventualnih mehaničkih oštećenja. Kako digitalni visinomjer nema dva ticala između kojih „stegnemo“ mjerni listić, nego ima jedno ticalo i stol koji mu predstavlja referentnu vrijednost (nulu) od koje mjeri, potrebno je mjerenje vršiti na šest mjernih mjesta. To provodimo tako da prvo mjerimo na tri mjerna mjesta prikazana na slici 10; te da potom listić okrenemo i da na toj strani mjerimo na ista tri mjesta. Također prije početka mjerenja potrebno je na upravljačkoj jedinici uređaja pritisnuti tipku za podešavanje nule nakon čega uređaj sam ticalom (u ovom slučaju kuglasto) dotakne stol i time je podešena nula. Podešavanje nule na uređaju također vršimo nakon svakog izmjenjenog listića. Na slikama 12. (a i b) je prikazan postupak mjerenja.



a)



b)

Slika 12. Prikaz mjerenja pomoću digitalnog visinomjera

U tablici 6. su prikazani rezultati mjerenja dobiveni pomoću digitalnog visinomjera. Bitno je napomenuti da u tablici 6. u stupcima u kojima se unose očitane vrijednosti pišu samo tri rezultata (provedeno šest mjerenja) svaki od njih predstavlja srednju vrijednost dva mjerenja dobivenih s obje strane mjernog listića. Srednja vrijednost dva mjerenja se računa za ista



mjerna mjesta s obje strane mjernog listića, na taj način se pokušalo kompenzirati nemogućnost prihvata listića s obje strane istovremeno. U tablici 6. su prikazani rezultati mjerenja dobiveni pomoću digitalnog visinomjera. Također se iz tablice 6. može vidjeti da su kod mjernih listića nazivnih mjera 0,15 mm, 0,5 mm, 0,65 mm i 0,8 mm odstupanja od nazivne mjere prekoračila dopuštena odstupanja po normi DIN 2275.

Tablica 6. Rezultati mjerenja na digitalnom visinomjeru

Rezultati umjeravanja seta mjernih listića na digitalnom visinomjeru						
Nazivna mjera (mm)	Očitana vrijednost (mm)			Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere (μm)	Dopušteno odstupanje po DIN 2275 (μm)
<b>0,05</b>	0,0483	0,048	0,0483	0,0482	-1,8	±3
<b>0,10</b>	0,1014	0,102	0,1018	0,101733333	1,7	±4
<b>0,15</b>	0,1551	0,1552	0,1554	0,155233333	5,2	±5
<b>0,20</b>	0,205	0,2094	0,1982	0,2042	4,2	±6
<b>0,25</b>	0,2554	0,2535	0,2537	0,2542	4,2	±6
<b>0,30</b>	0,2997	0,3007	0,3006	0,300333333	0,3	±7
<b>0,35</b>	0,3509	0,3508	0,3505	0,350733333	0,7	±7
<b>0,40</b>	0,3994	0,4065	0,4134	0,406433333	6,4	±8
<b>0,45</b>	0,4514	0,451	0,4521	0,4515	1,5	±8
<b>0,50</b>	0,4868	0,4882	0,4909	0,488633333	-11,4	±9
<b>0,55</b>	0,5506	0,5504	0,5546	0,551866667	1,9	±9
<b>0,60</b>	0,6063	0,6004	0,602	0,6029	2,9	±11
<b>0,65</b>	0,659	0,662	0,6692	0,6634	13,4	±11
<b>0,70</b>	0,7086	0,7058	0,709	0,7078	7,8	±12
<b>0,75</b>	0,7494	0,749	0,7518	0,750066667	6,7	±12
<b>0,80</b>	0,8111	0,8253	0,8052	0,813866667	13,9	±13
<b>0,85</b>	0,8619	0,8648	0,8595	0,862066667	12,1	±13
<b>0,90</b>	0,9092	0,903	0,9073	0,9065	6,5	±14
<b>0,95</b>	0,9707	0,953	0,9595	0,961066667	11,1	±14
<b>1,00</b>	1,006	0,9975	1,01	1,0045	4,5	±16

#### 4.3. MJERENJE POMOĆU UNIVERZALNOG UREĐAJA ZA MJERENJE DULJINA

Kao što je već navedeno zbog slijednog mjerenja u kratkom vremenskom razdoblju mjerne površine su već bile pripremljene. Mjerenja se i na ovom uređaju vrše na tri mjerna mjesta kako je to prikazano na slici 10. Također prije početka mjerenja je potrebno podesiti mjerni uređaj na nulu, to se vrši na način da ticala namjestimo u nulti položaj (kada dotiču jedan drugoga) i kada na monitoru očitamo vrijednost nula u izborniku odaberemo postavljanje nule. Na slikama 13. (a, b i c) je prikazan postupak mjerenja pomoću univerzalnog uređaja za mjerenje duljina.



a)



b)



c)

Slika 13. Prikaz mjerenja pomoću univerzalnog uređaja za mjerenje duljina

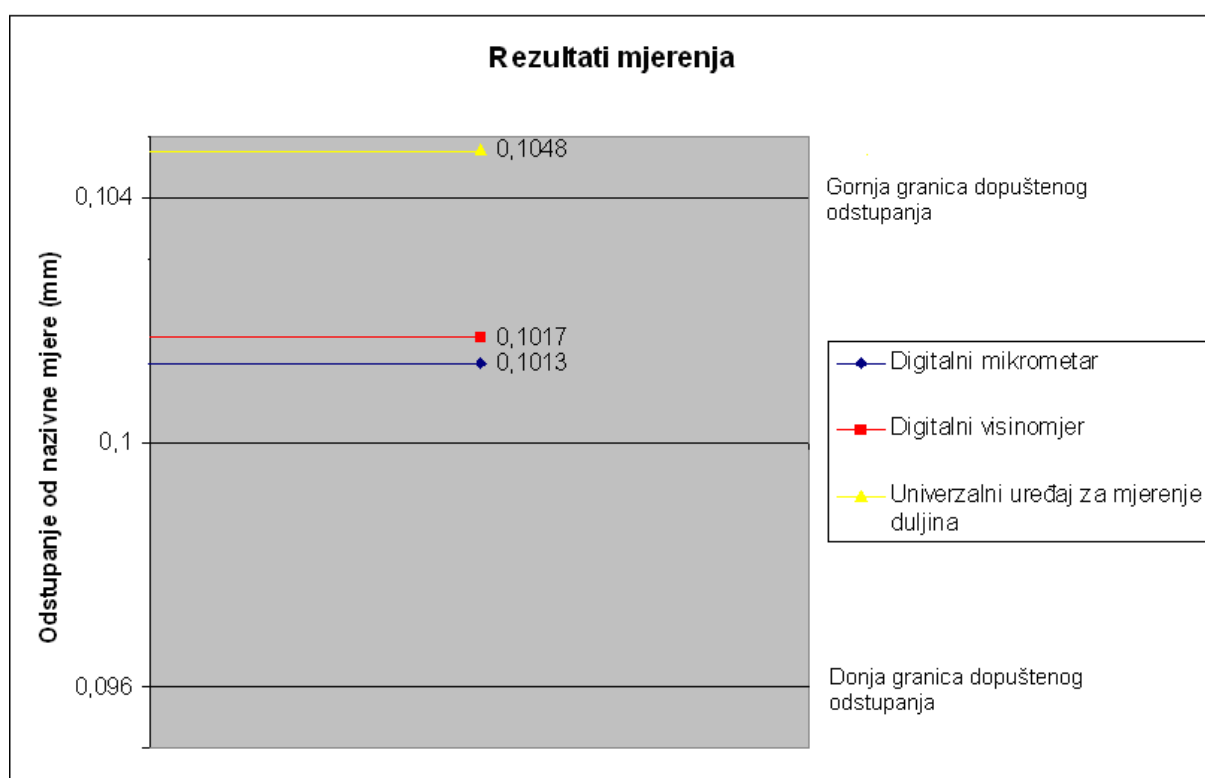
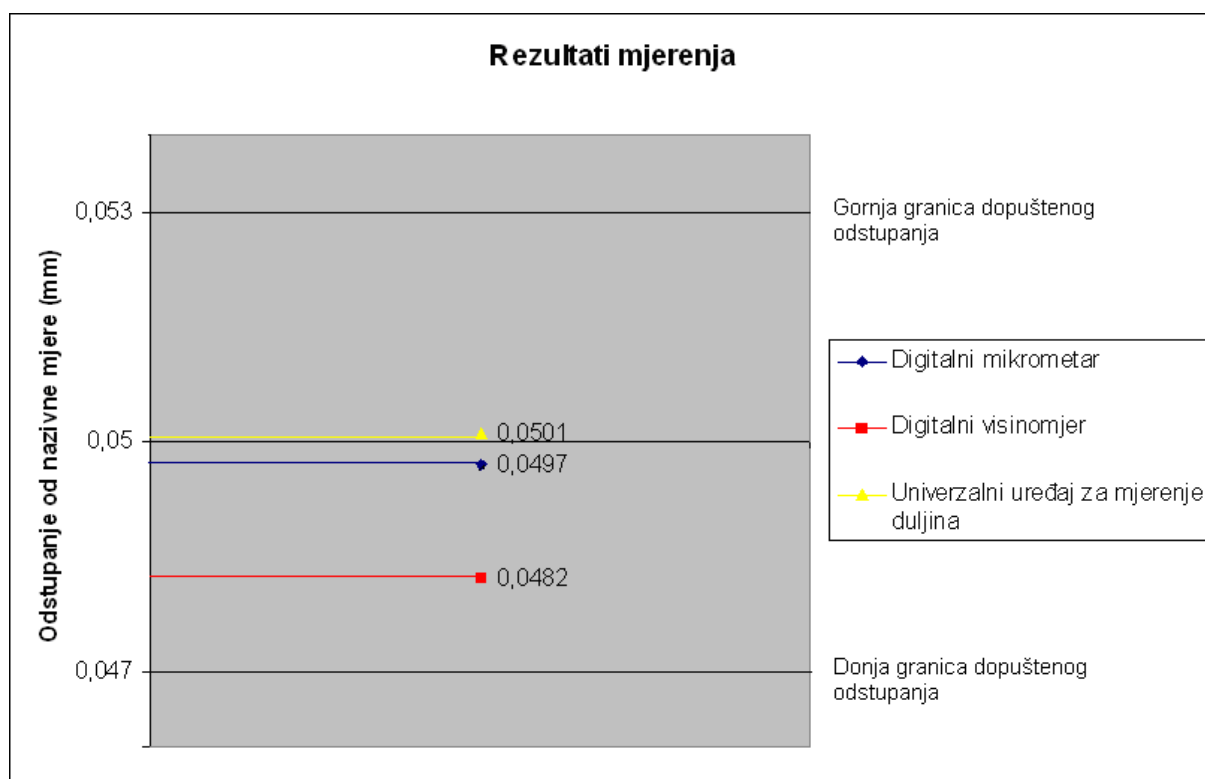
Rezultati mjerenja pomoću univerzalnog uređaja za mjerenje duljina su prikazani u tablici 7. Iz tablice 7. se vidi kako su kod mjernih listića nazivnih mjera 0,15 mm i 0,5 mm odstupanja od nazivnih mjera prekoračila dopuštena odstupanja prema normi DIN 2275.

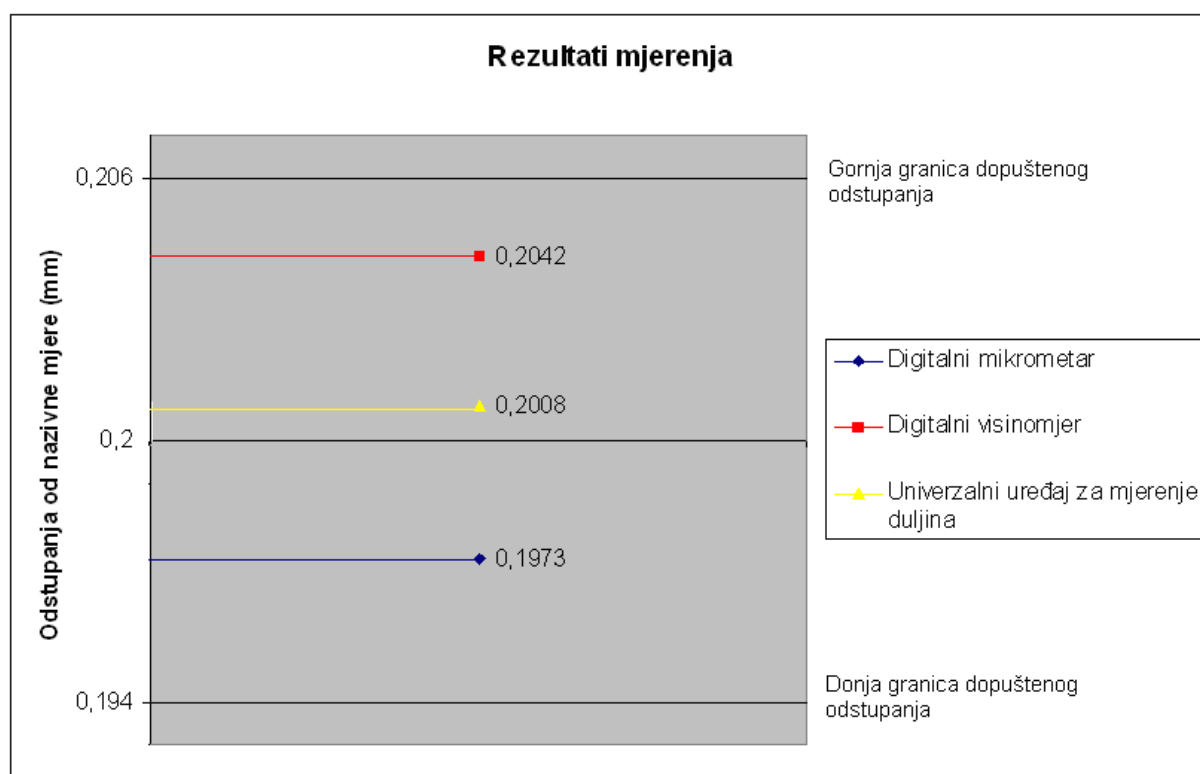
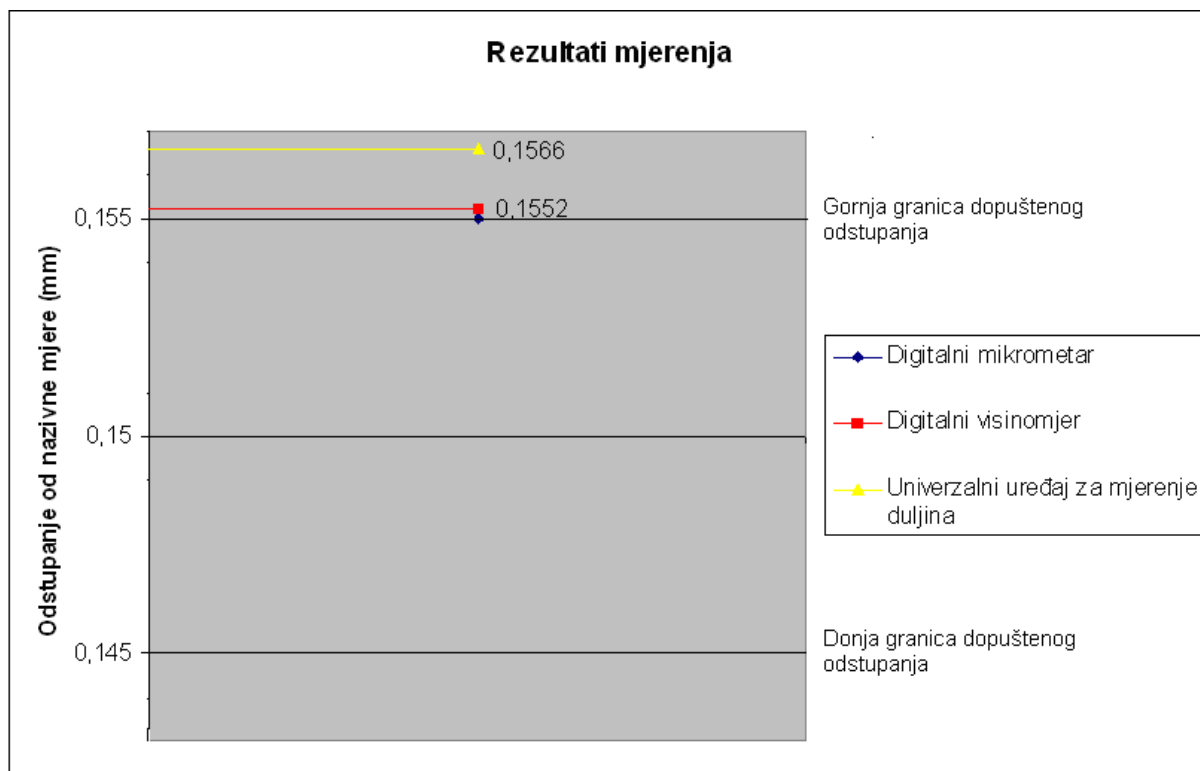
Tablica 7. Rezultati mjerenja na uređaju za mjerenje duljine

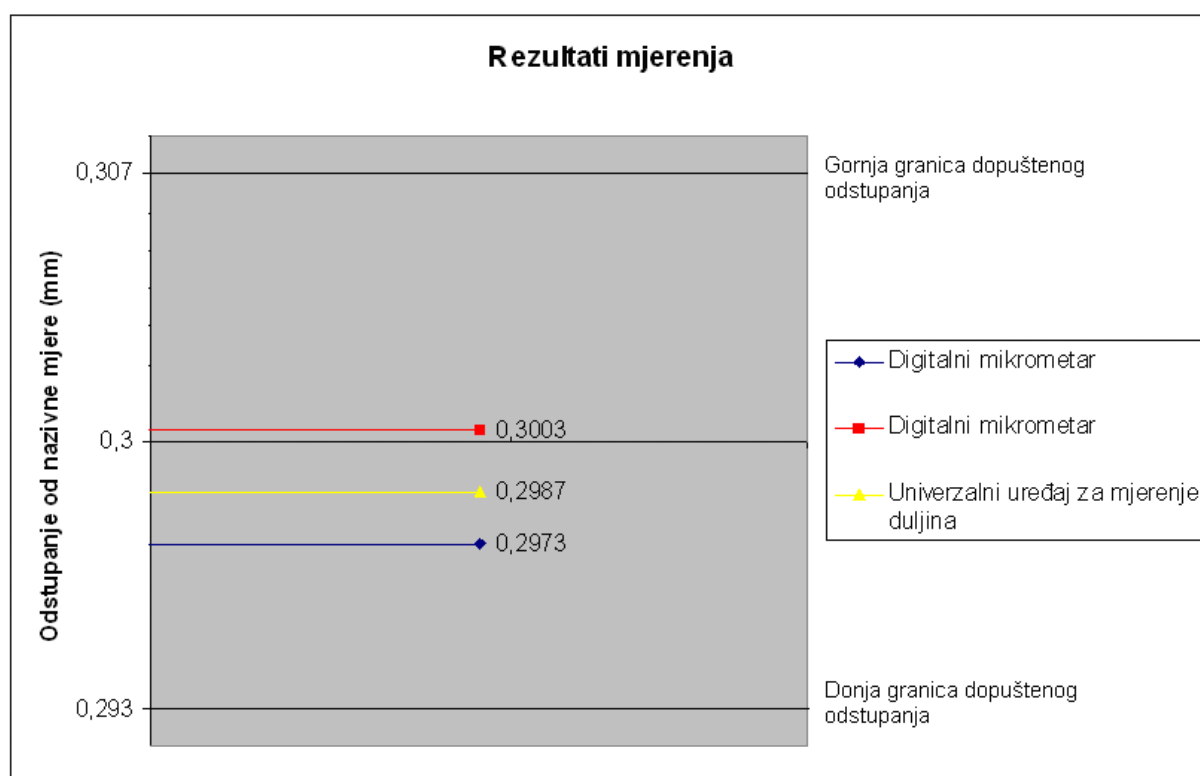
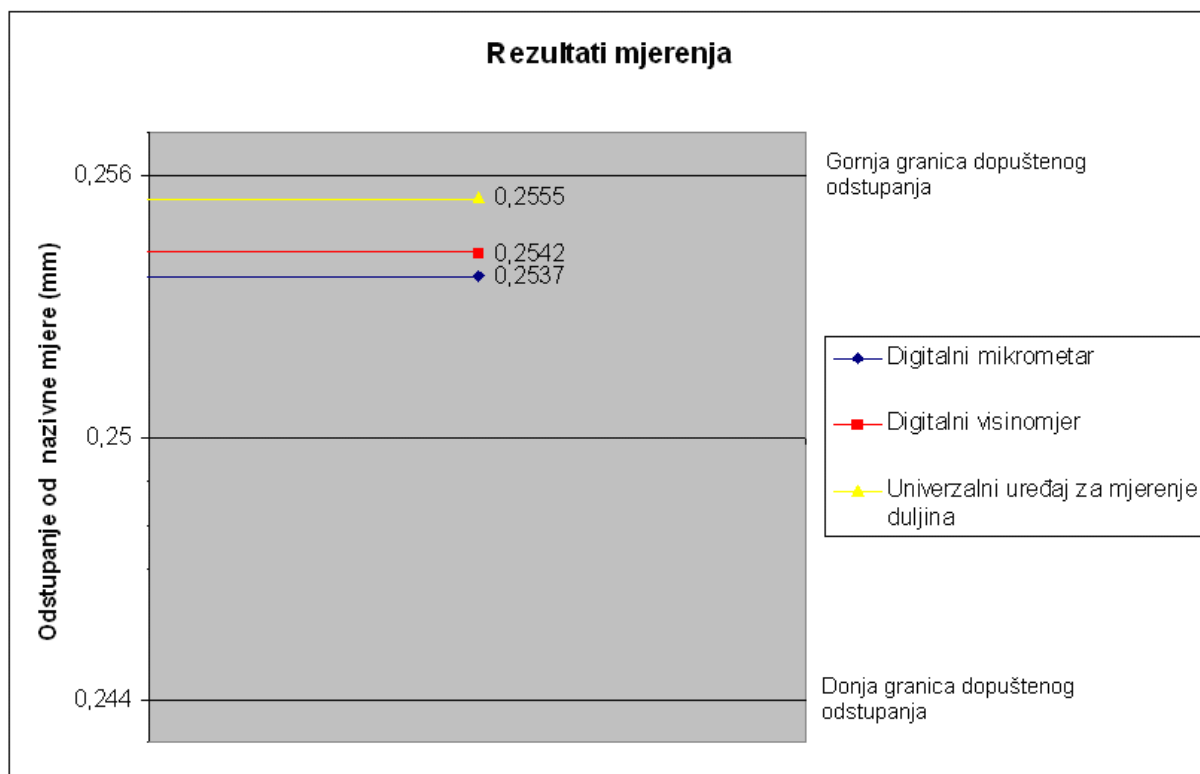
Rezultati mjerenja na univerzalnom uređaju za mjerenje duljine						
Nazivna mjera (mm)	Očitana vrijednost (mm)			Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere (μm)	Dopušteno odstupanje po DIN 2275 (μm)
<b>0,05</b>	0,0513	0,0493	0,0497	0,0501	0,1	±3
<b>0,10</b>	0,1063	0,104	0,1042	0,104833333	4,8	±4
<b>0,15</b>	0,1579	0,1548	0,1571	0,1566	6,6	±5
<b>0,20</b>	0,2074	0,1959	0,1992	0,200833333	0,8	±6
<b>0,25</b>	0,2554	0,2542	0,2568	0,255466667	5,5	±6
<b>0,30</b>	0,2985	0,2981	0,2995	0,2987	-1,3	±7
<b>0,35</b>	0,3508	0,3488	0,3486	0,3494	-0,6	±7
<b>0,40</b>	0,3985	0,3985	0,3986	0,398533333	-1,5	±8
<b>0,45</b>	0,4491	0,4511	0,4492	0,4498	-0,2	±8
<b>0,50</b>	0,4857	0,4885	0,4907	0,4883	-11,7	±9
<b>0,55</b>	0,5487	0,5525	0,5553	0,552166667	2,2	±9
<b>0,60</b>	0,5968	0,6014	0,5993	0,599166667	-0,8	±11
<b>0,65</b>	0,6584	0,6637	0,6599	0,660666667	10,6	±11
<b>0,70</b>	0,7008	0,702	0,701	0,701266667	1,3	±12
<b>0,75</b>	0,7453	0,7449	0,7437	0,744633333	-5,4	±12
<b>0,80</b>	0,8	0,8015	0,8016	0,801033333	1	±13
<b>0,85</b>	0,8555	0,8577	0,8583	0,857166667	7,2	±13
<b>0,90</b>	0,9015	0,9029	0,9064	0,9036	3,6	±14
<b>0,95</b>	0,9529	0,9528	0,9528	0,952833333	2,8	±14
<b>1,00</b>	0,995	0,9965	0,9998	0,9971	-2,9	±16

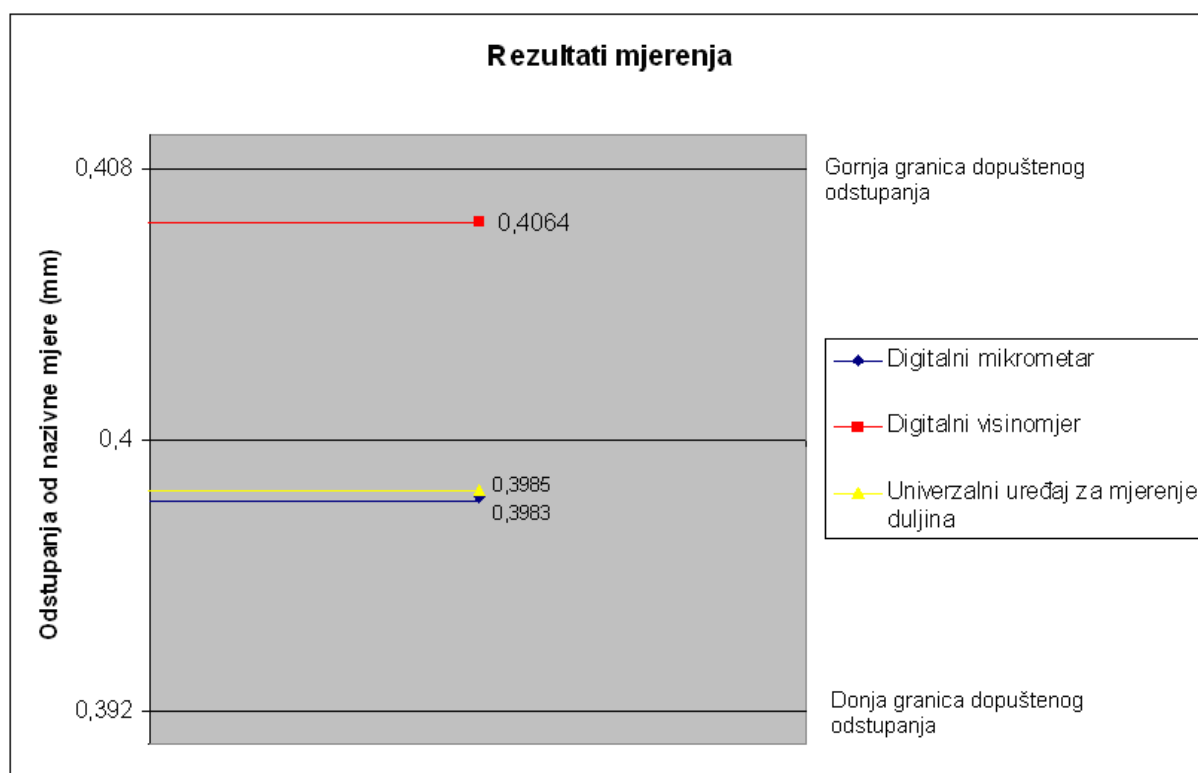
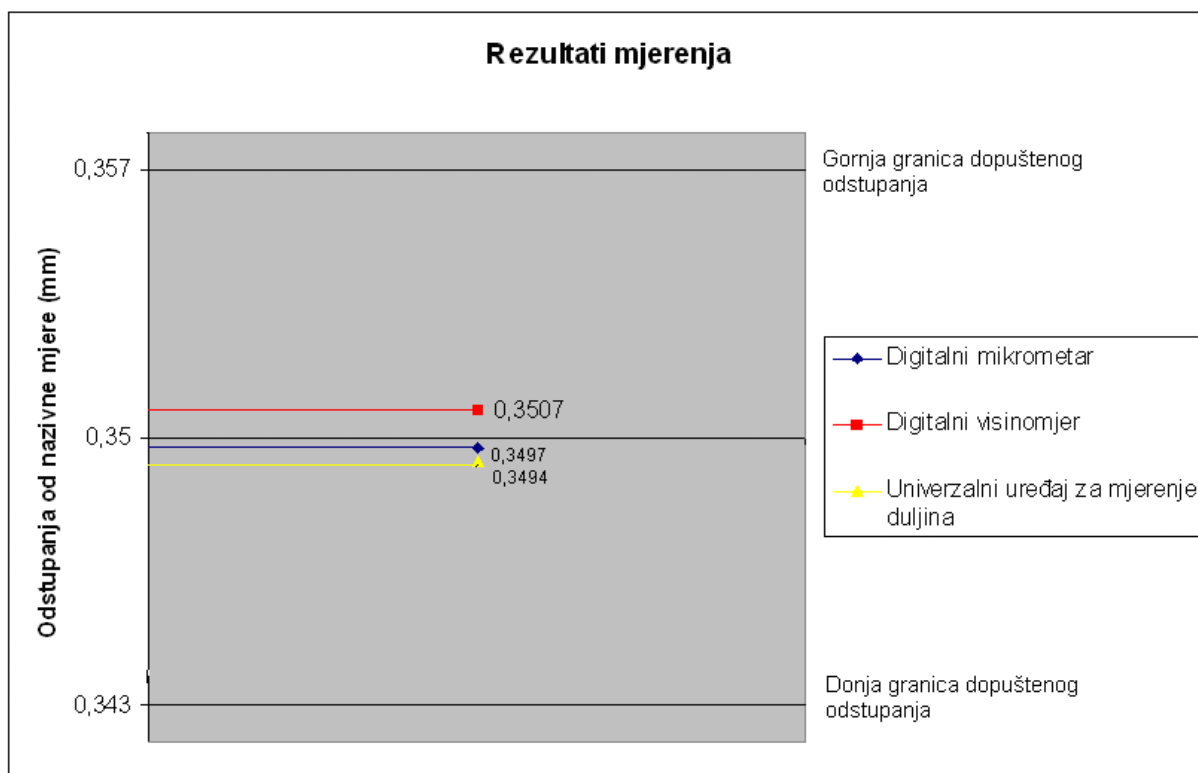
#### 4.4. USPOREBA REZULTATA MJERENJA

Rezultate mjerenja pomoću navedenih mjernih uređaja uspoređujemo, na osnovu odstupanja od nazivne mjere. Prikaz usporedbe rezultata mjerenja je na slici 14.

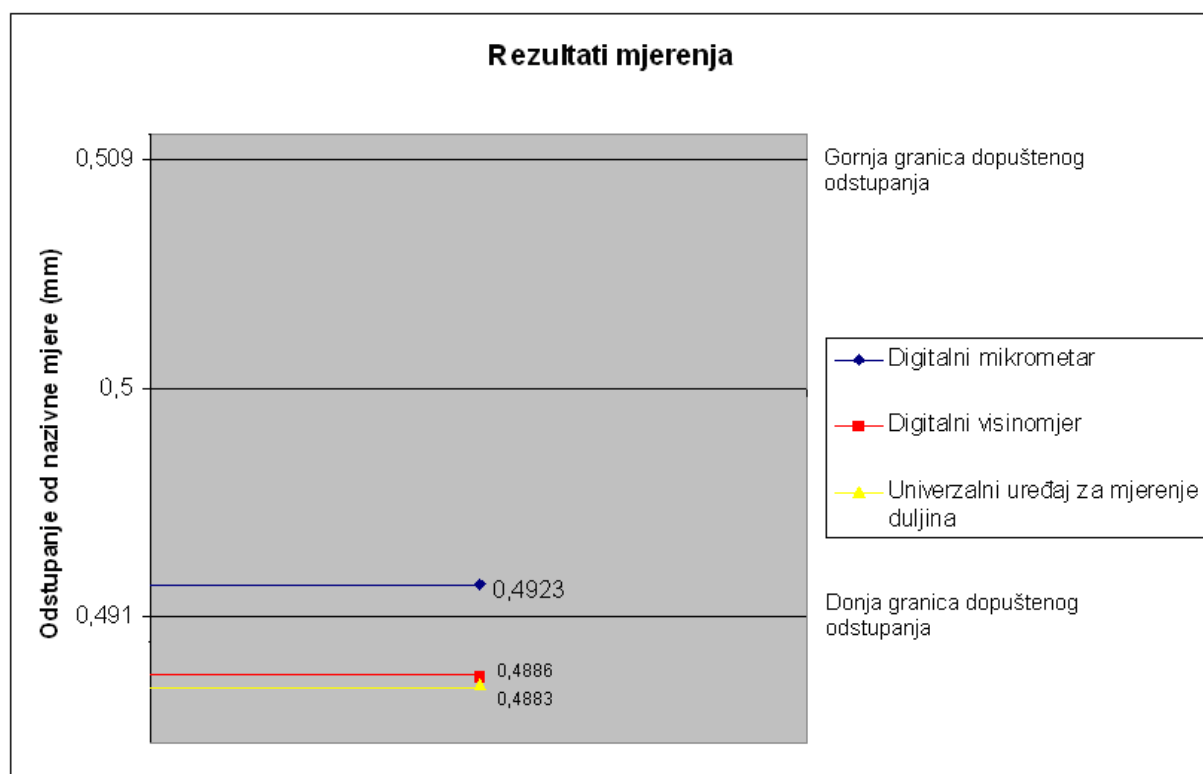
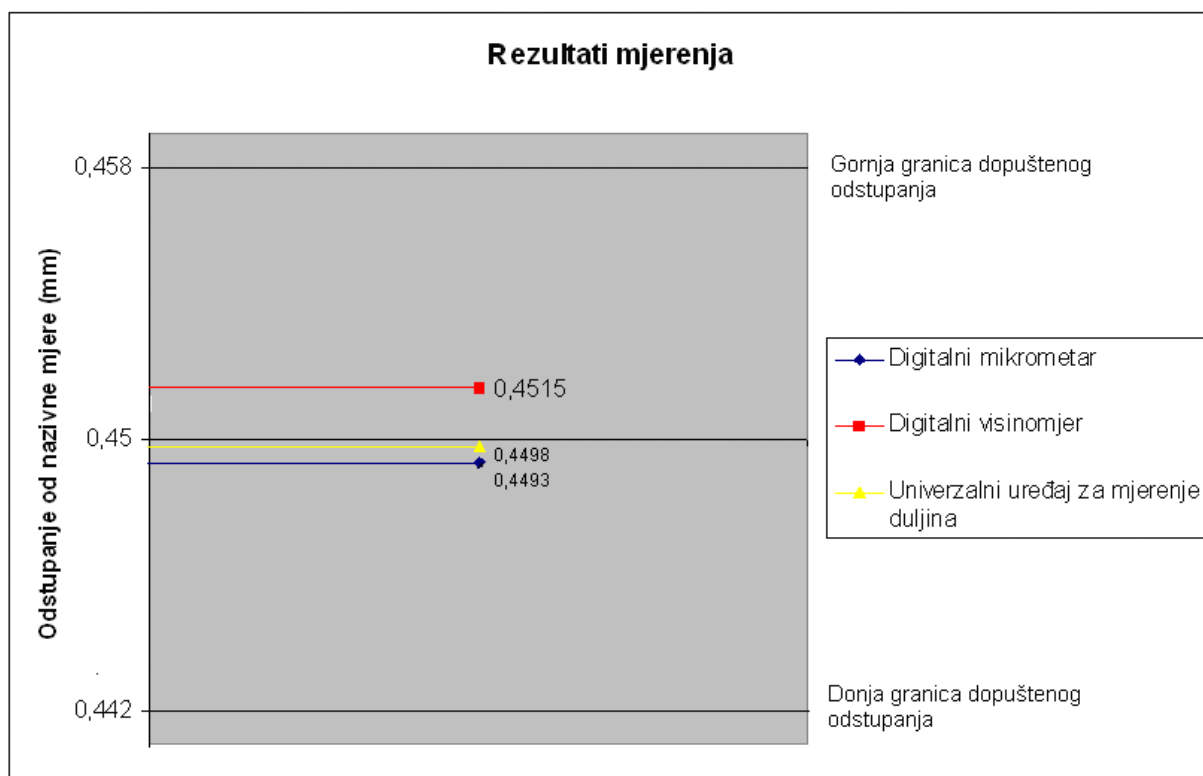


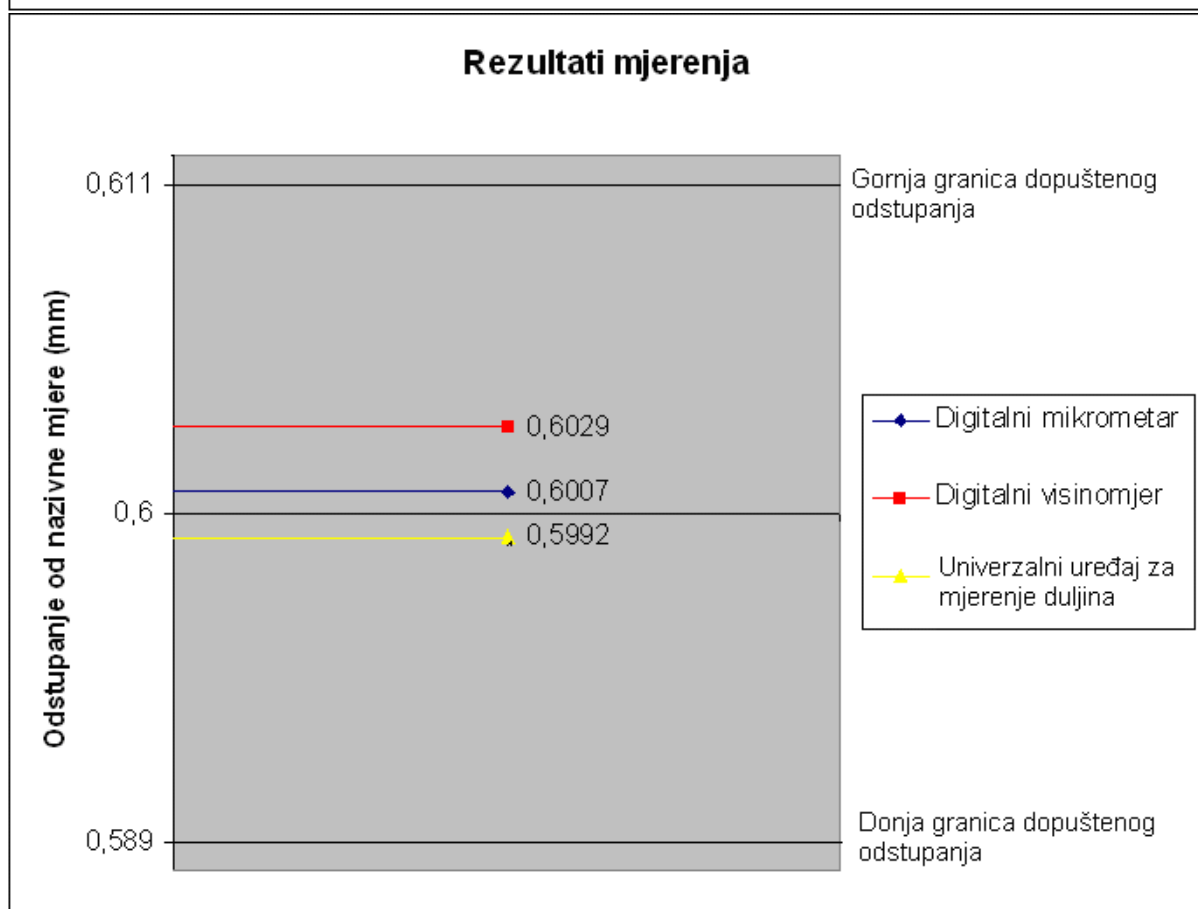
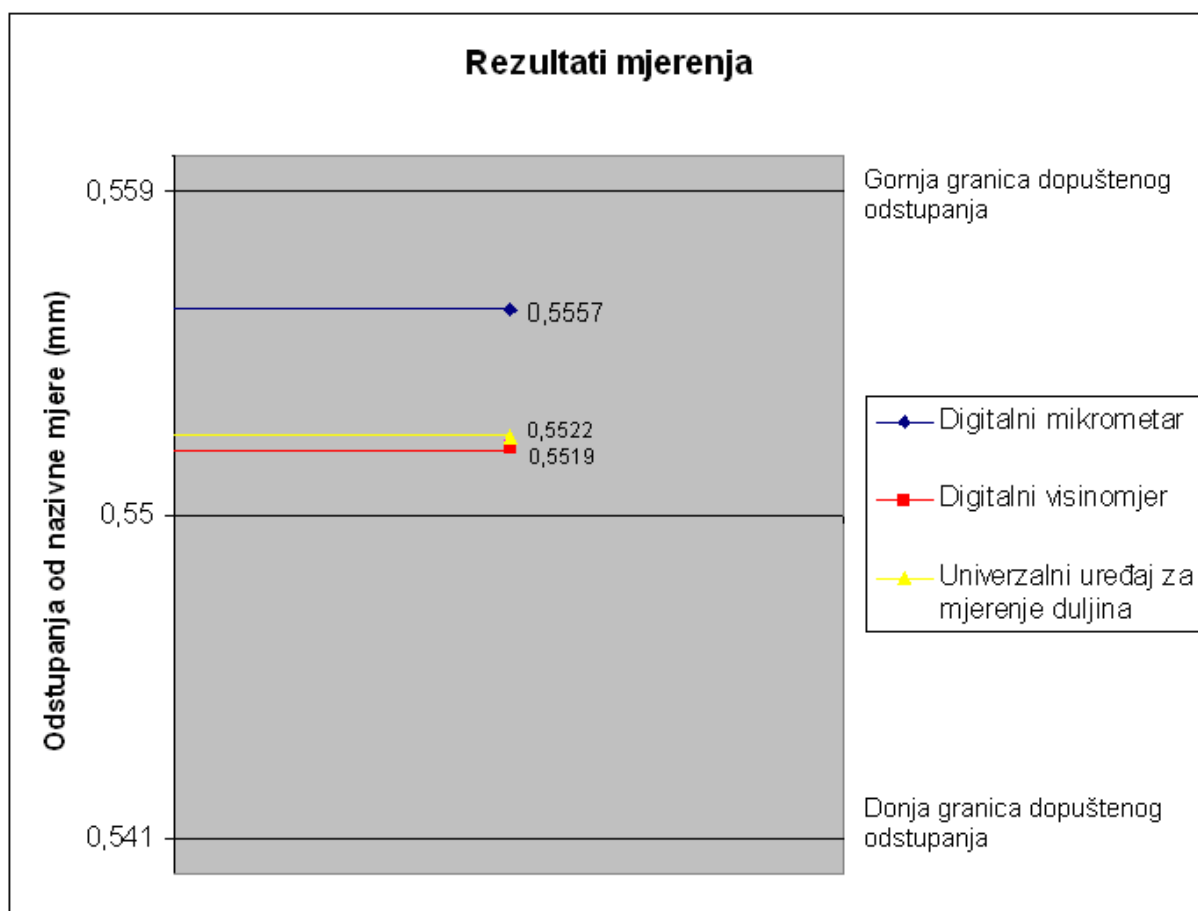


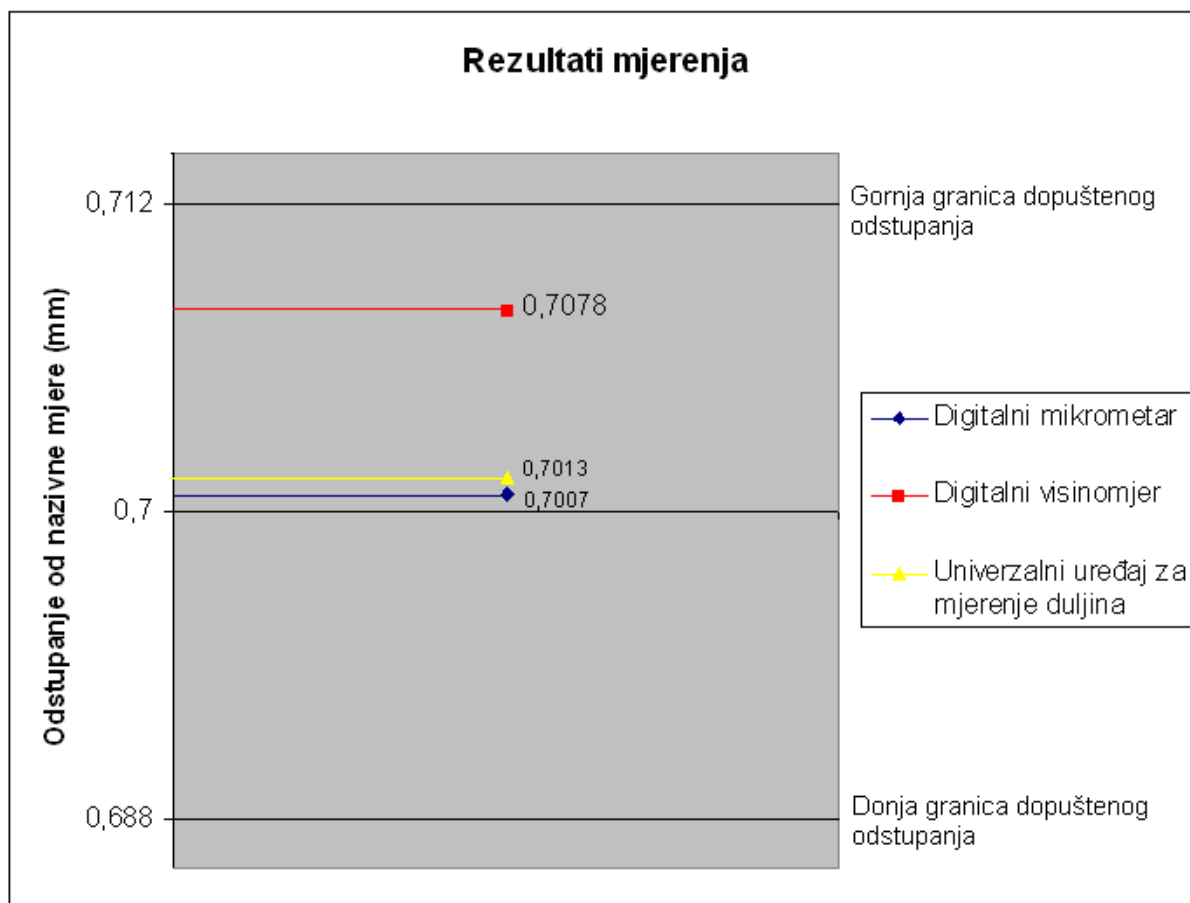
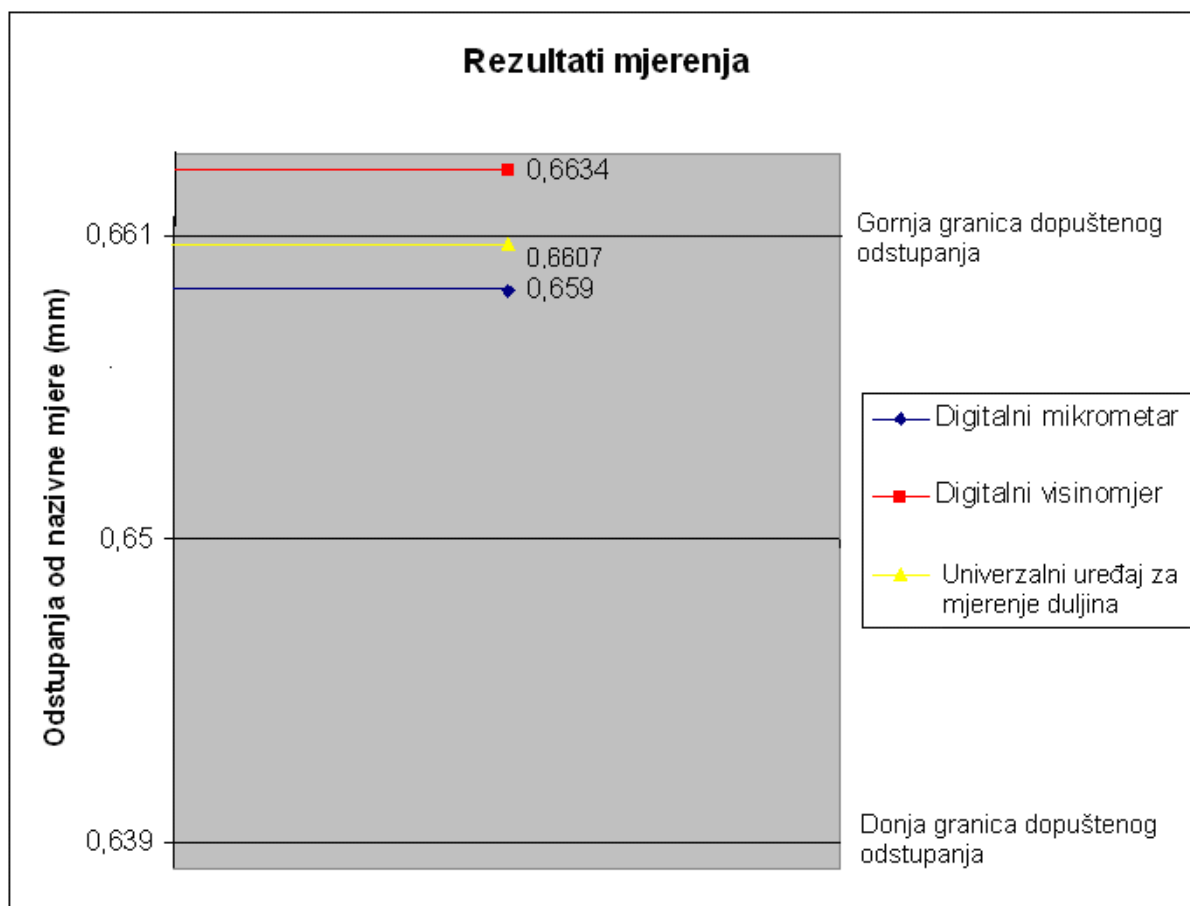


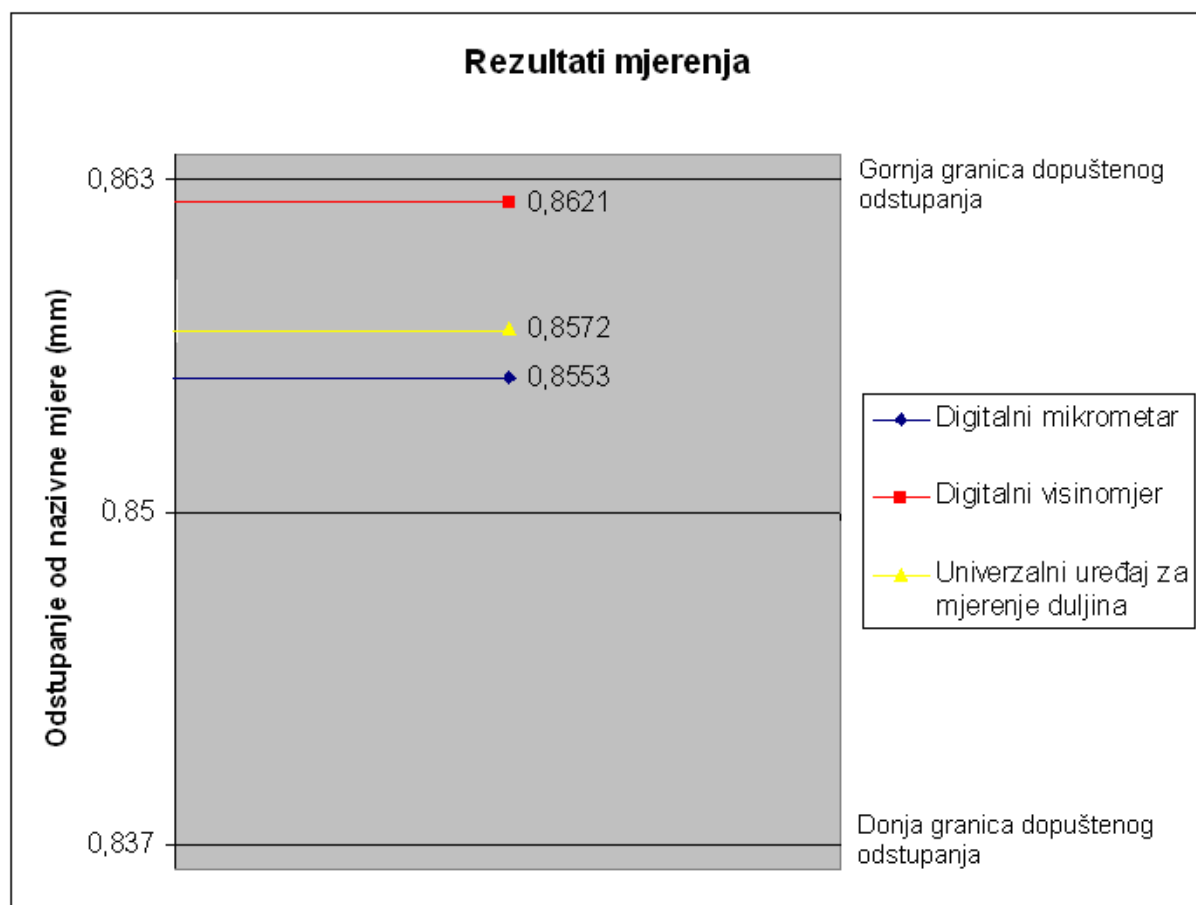
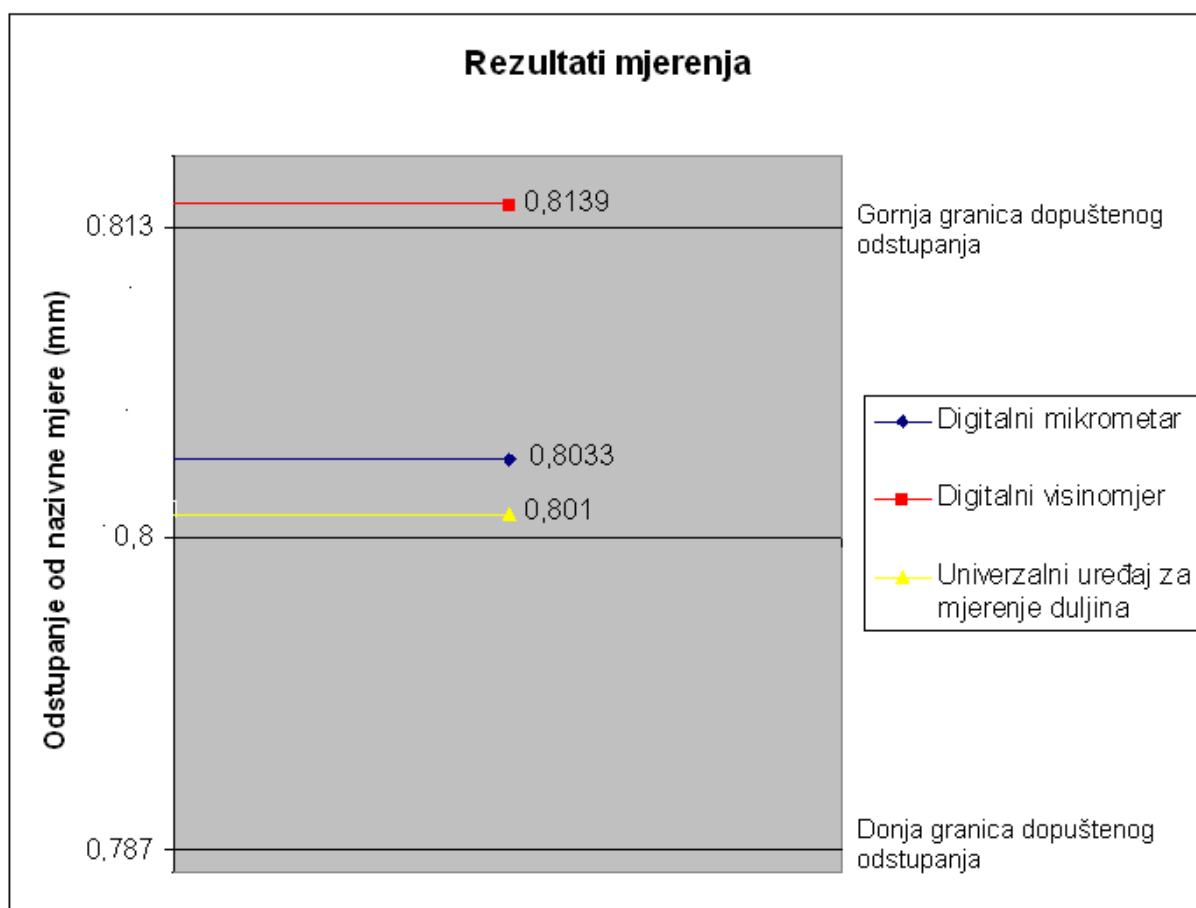


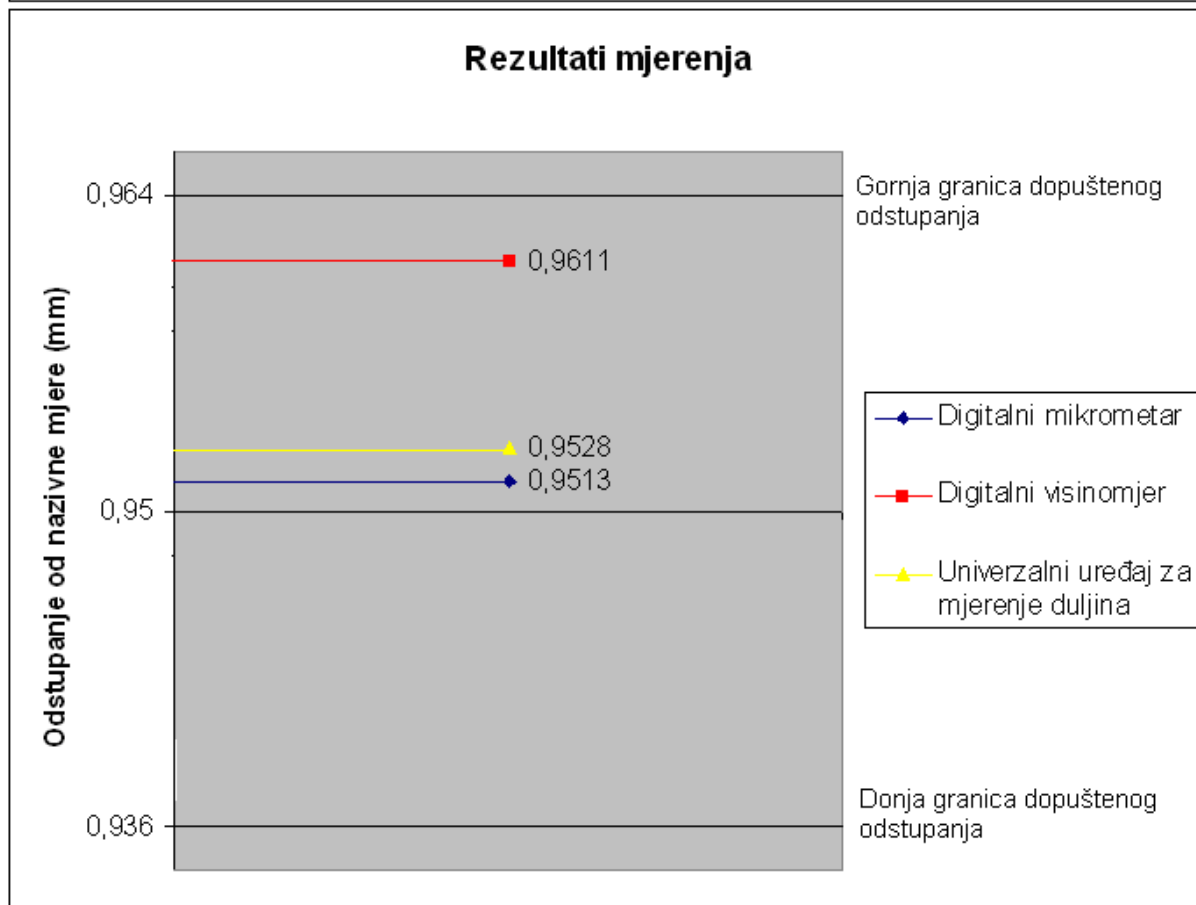
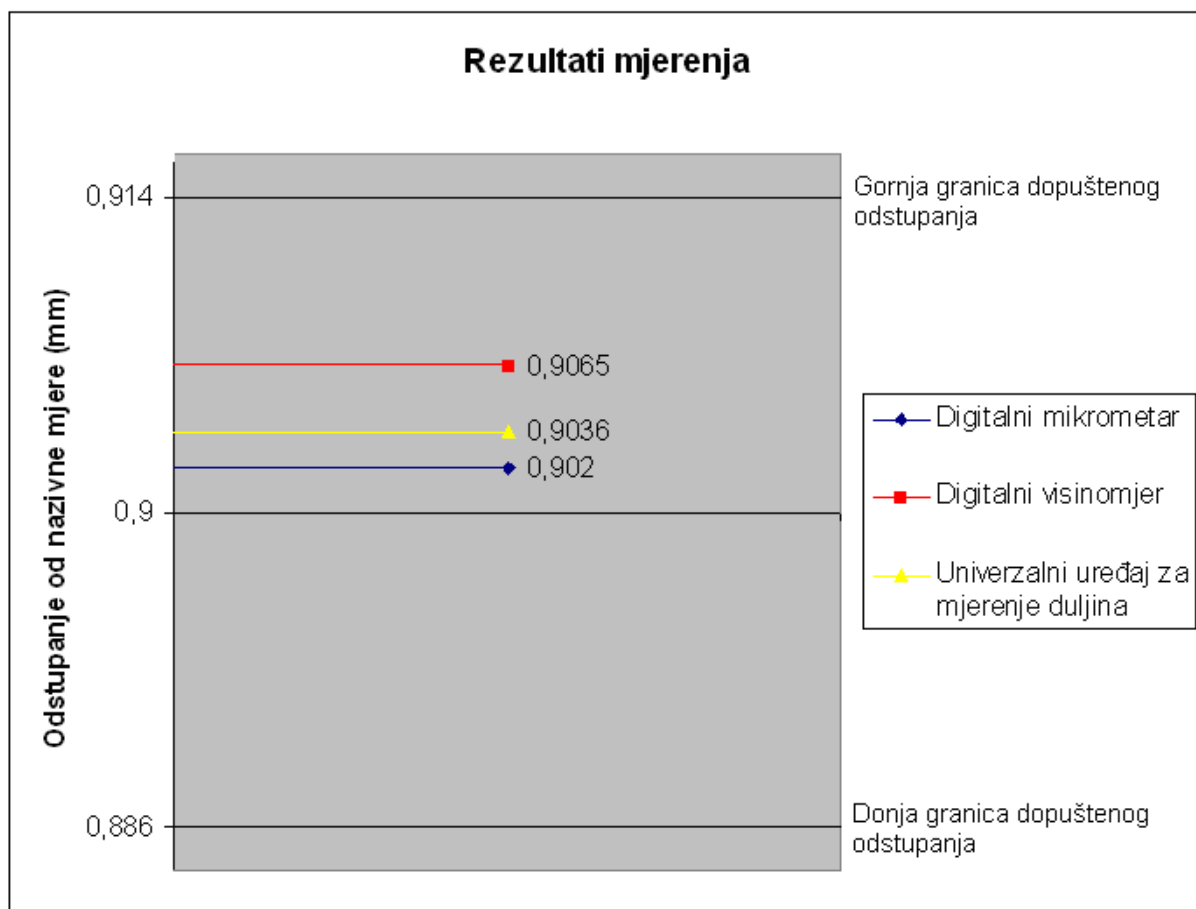


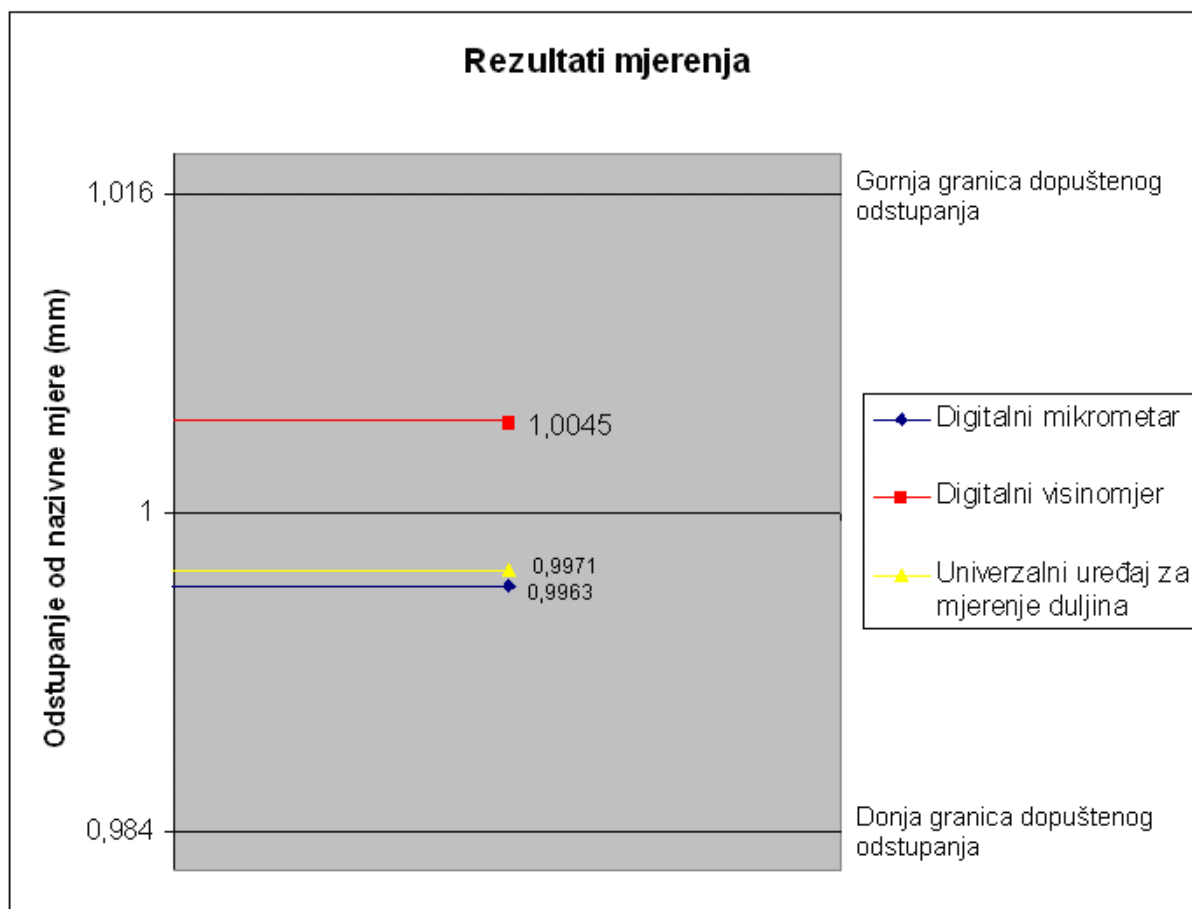












Slika 14. Usporedba rezultata mjerenja

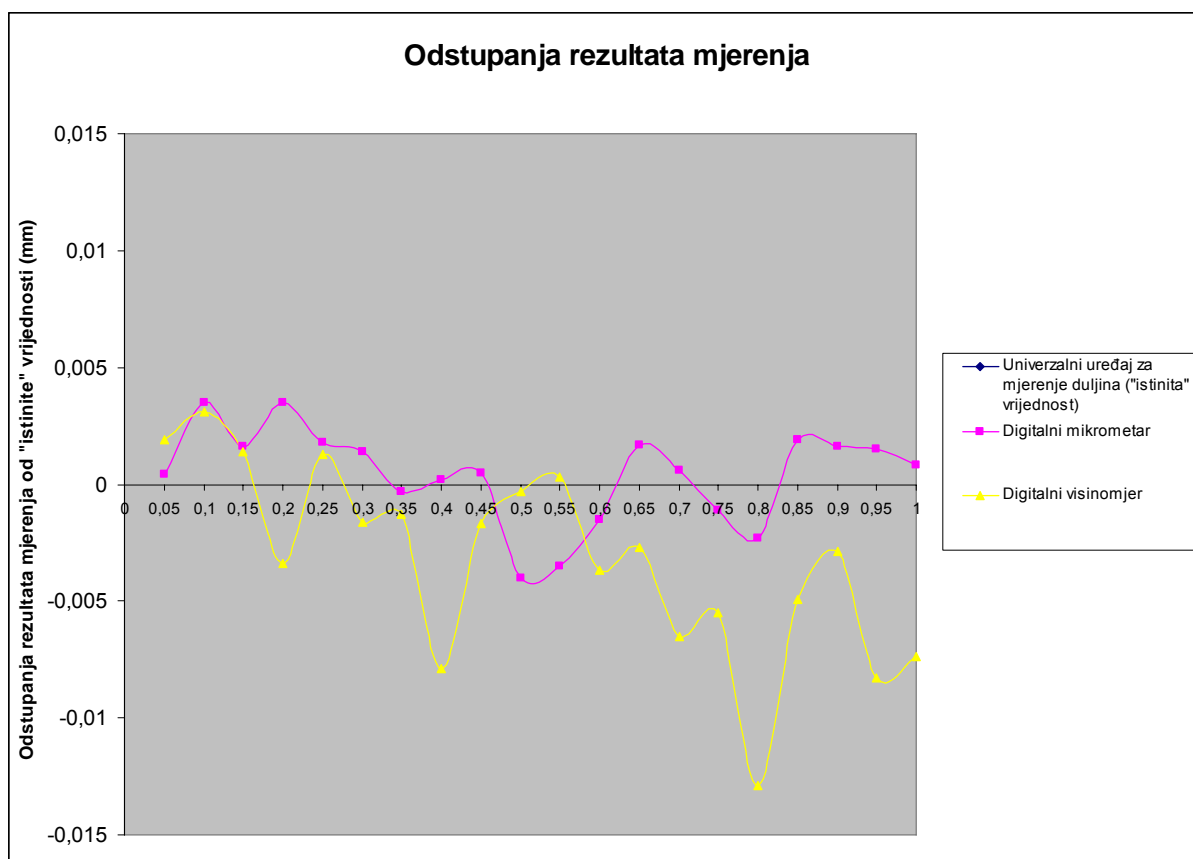
Usporedba rezultata mjerenja pokazuje da jedino digitalni mikrometar zadovoljava uvjete dopuštenih odstupanja od nazivne mjere. Također većina izmjerenih listića ima odstupanje u pozitivnom smjeru. To se pripisuje činjenici jer jedino digitalni mikrometar od ova tri uređaja ima ravna ticala, te je kontakt koji se ostvaruje između mjernih površina ploha, pa je stoga za očekivati da uslijed naliježanja dviju ploha svake sa svojim odstupanjem od ravnosti da su odstupanja uglavnom pozitivna. Za digitalni visinomjer je bilo očekivano da će imati najveća odstupanja od nazivne mjere, odstupanja kod digitalnog visinomjera su većinom bila u pozitivnom smjeru (izuzev dva mjerna listića nazivnih mjera 0,05 mm i 0,5 mm). To se događa iz razloga zato što digitalni visinomjer kao bazu (nulu) koristi stol koji ima određeno odstupanje od ravnosti, te se time povećava pogreška rezultata. Isto tako kako god da zamislimo profil neravnina koje su na tome stolu uvijek će postavljeni mjerni listić ležati na vrhovima neravnina koje su pozitivnog iznosa. Osim toga ticalo je kuglastog završetka što znači da kontakt s mjernim listićem ostvaruje u jednoj točki, te se može pojaviti povećano odstupanje zbog savinutosti listića. Rezultati na univerzalnom uređaju za mjerenje duljina su

uglavnom bili bliski rezultatima dobivenim na digitalnom mikrometru, osim kod mjernih listića nazivnih mjera 0,10 mm, 0,15 mm i 0,5 mm kada su odstupanja prekoračila dopuštene vrijednosti. Takva odstupanja pripisujemo činjenici da je mjerenje vršeno kuglastim kpicama.

Odlučio sam se razraditi postupak umjeravanja za univerzalni uređaj za mjerenje duljina, jer je to uređaj najviše razine točnosti čija je rezolucija 0,01  $\mu\text{m}$ . Rezultati dobiveni na univerzalnom uređaju za mjerenje duljina mi postaju referentni, te u odnosu na njih uspoređujem odstupanja rezultata dobivenih na ostala dva uređaja (digitalni mikrometar i digitalni visinomjer);(tablica 8.). Na slici 15. su grafički prikazane vrijednosti unešene u tablici 8.

Tablica 8. Odstupanja rezultata mjerenja digitalnog mikrometra i digitalnog visinomjera u odnosu na univerzalni uređaj za mjerenje duljina

Odstupanja rezultata mjerenja		
Srednja vrijednost mjerenja dobivena na univerzalnom uređaju za mjerenje duljina, koja nam predstavlja referentnu vrijednost (mm)	Odstupanje od referentne vrijednosti rezultata mjerenja dobivenih na digitalnom mikrometru ( $\mu\text{m}$ )	Odstupanje od referentne vrijednosti rezultata mjerenja dobivenih na digitalnom visinomjeru ( $\mu\text{m}$ )
0,0501	0,4	1,9
0,1048	3,5	3,1
0,1566	1,6	1,4
0,2008	3,5	-3,4
0,2555	1,8	1,3
0,2987	1,4	-1,6
0,3494	-0,3	-1,3
0,3985	0,2	-7,9
0,4498	0,5	-1,7
0,4883	-4	-0,3
0,5522	-3,5	0,3
0,5992	-1,5	-3,7
0,6607	1,7	-2,7
0,7013	0,6	-6,5
0,7446	-1,1	-5,5
0,801	-2,3	-12,9
0,8572	1,9	-4,9
0,9036	1,6	-2,9
0,9528	1,5	-8,3
0,9971	0,8	-7,4



Slika 15. Prikaz odstupanja

U nastavku je razrađen postupak umjeravanja mjernih listića u obliku dokumenta kakav se koristi u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina.





## **POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERNIH LISTIĆA**

Zagreb, veljača 2009.



## POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERNIH LISTIĆA

Izdanje 00

IZRADIO:

Domagoj Nedved

---

PROVJERIO:

Gorana Barišić, dipl. ing.

---

ODOBRIO:

Prof. dr. sc. Sanjin Mahović

---

Zagreb, veljača 2009.



PRIMJEDBE:

00	Nulto izdanje	2009.	D. Nedved	S. Mahović
<b>Izdanje</b>	<i>Opis izmjene</i>	<b>Datum</b>	<b>Izradio</b>	<b>Odobrio</b>

## SADRŽAJ

Poglavlje	Naslov	Stranica
5	Svrha	48
5.1.	Područje primjene	48
5.2.	Norme i referentni dokumenti	48
5.3.	Provjera certifikata mjernih sredstava	48
5.4.	Priprema za provedbu umjeravanja	48
5.5.	Prethodna ispitivanja	48
5.6.	Provedba umjeravanja	49
5.7.	Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja	49
5.8.	Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti	49
5.9.	Sljedivost	55
<i>Privitak br. 1.</i>	<i>Radna podloga</i>	56

## 5. POSTUPAK UMJERAVANJA

Svrha ovog dokumenta je razrada postupka umjeravanja mjernih listića.

### 5.1. PODRUČJE PRIMJENE

Postupak je namijenjen umjeravanju svih setova mjernih listića mjernog područja od 0,03 mm do 2 mm.

### 5.2. NORME I REFERENTNI DOKUMENTI

Za potpuno razumijevanje i primjenu ovog postupka potrebno je koristiti slijedeće norme i referencijske dokumente:

DIN 2275 (1977) : Fühlerlehren (mjerni listići)

Uputa za korištenje univerzalnog uređaja za mjerenje duljina

### 5.3. PROVJERA CERTIFIKATA MJERNIH SREDSTAVA

Prije provedbe umjeravanja potrebno je provjeriti valjanost certifikata onih mjernih sredstava koja se koriste u postupku umjeravanja (univerzalni uređaj za mjerenje duljina).

### 5.4. PRIPREMA ZA PROVEDBU UMJERAVANJA

Mjerne površine listića i uređaja koje koristimo treba očistiti i odstraniti masnoću korištenjem medicinskog benzina, pamučne vate i čiste pamučne krpe. Čišćenje se provodi u prostoriji A-102-1.

### 5.5. PRETHODNA ISPITIVANJA

Provjeriti postojanje identifikacijske oznake seta mjernih listića (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjernih listića).

Provjeriti stanje mjernih površina (korozija, oštećenja, istrošenost i dr.)

Rezultate ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu*, ona se nalazi u privitku.



U slučaju da mjerni listići ne zadovoljavaju zahtjeve iz točke 5.5; postupak umjeravanja se ne provodi.

## 5.6. PROVEDBA UMJERAVANJA

Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Sama provedba mjerenja je prikazana pod točkom 4.3.

1. Provjeriti postojanje identifikacijskih oznaka mjernih listića (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjerila)
2. Provjeriti stanje mjernih površina (korozija, oštećenja, istrošenost i sl.)
3. Provjeriti uočljivost brojevnik oznaka nazivne mjere

## 5.7. OBRADA I PRIKAZIVANJE REZULTATA

U slučaju da set mjernih listića ne zadovoljava uvjete iz točke 5.5. koja se odnosi na prethodna ispitivanja korisniku se izdaje samo prva stranica Radne podloge gdje se dogovorenim oznakom naznači nemogućnost provedbe umjeravanja. Radnu podlogu naposljetku potpisuje voditelj Laboratorija.

U slučaju da smo proveli umjeravanje rezultate treba usporediti sa dopuštenim odstupanjima prema odgovarajućoj normi (tablica 7. i slika 14.). U slučaju da je rezultat mjerenja izvan granica dopuštenih odstupanja, mjerenje treba ponoviti. Ako se potvrde prethodni rezultati u Potvrdi o umjeravanju korisniku seta mjernih listića treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

## 5.8. PRORAČUN ZA ISKAZIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI

„Mjerna nesigurnost definirana je kao parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost“.[2] Potrebno ju je procjenjivati radi nedvosmislenog iskazivanja i usporedbe izmjerenih rezultata dobivenih u različitim umjernim i ispitnim laboratorijima ili radi usporedbe izmjerenih rezultata sa specifikacijama proizvođača ili zadanom tolerancijom.

### 5.8.1. Matematički model mjerenja

$$L_S = L_{Si} + \delta L_{Si} + \delta L_T + \delta L_E + \delta L_A + \delta L_P$$

gdje je:

- $L_S$  - stvarna (korigirana) debljina mjernog listića
- $L_{Si}$  - izmjerena debljina mjernog listića
- $\delta L_{Si}$  - utjecaj granične pogreške
- $\delta L_T$  - utjecaj temperature
- $\delta L_E$  - utjecaj elastične deformacije
- $\delta L_A$  - utjecaj Abbeove pogreške
- $\delta L_P$  - utjecaj nesusnosti mjernih ticala

### 5.8.2. Ponovljivost

Provedeno je 30 ponovljenih mjerenja mjernog listića nazivne debljine 0,5 mm. Utvrđeno je standardno odstupanje jednog mjerenja u iznosu:

$$s(L_{Si}) = 0,7 \text{ } \mu\text{m}$$

Standardno odstupanje jednog mjerenja sadrži utjecaj odstupanja od ravnosti i paralelnosti mjernih površina mjernog listića, kao i utjecaj ponovljivosti mjernog uređaja. Standardna nesigurnost za tri ponovljena mjerenja koliko se izvodi u postupku mjerenja iznosi:

$$u(L_{Si}) = \frac{s(L_{Si})}{\sqrt{3}} = 0,404 \text{ } \mu\text{m}$$

### 5.8.3. Granična pogreška

Izvršeno je ispitivanje mjernog uređaja i utvrđeno je da se odstupanja nalaze unutar granične pogreške koja iznosi  $\pm(0,5 + 10 \cdot L) \text{ } \mu\text{m}$ ,  $L$  u m. Uz pretpostavku pravokutne razdiobe standardna nesigurnost iznosi:

$$u(\delta L_{Si}) = \frac{(0,5 + 10 \cdot L)}{\sqrt{3}} = (0,29 + 5,8 \cdot L) \mu m, L u m$$

#### 5.8.4. Temperaturna korekcija

U postupku mjerenja mjernih listića provodi se temperaturna korekcija. Korekcija zbog utjecaja temperature prikazana je izrazom kako slijedi.

$$\delta L_T = 0,011 \cdot L \cdot (t_M - t_{EP})$$

gdje je:

- $\delta L_T$  - iznos temperaturne korekcije,  $\mu m$
- $L$  - nazivna debljina mjernog listića, m
- $t_M$  - temperatura mjerne skale,  $^{\circ}C$
- $t_{EP}$  - temperatura mjernog listića,  $^{\circ}C$

Gornji izraz možemo napisati:

$$\delta L_T = \alpha \cdot L \cdot (\Delta t_1)$$

gdje je:

$$\Delta t_1 = t_M - t_{EP}$$

Mjerenja se provode kada su temperature  $t_M$  i  $t_{EP}$  u intervalu  $20^{\circ}C \pm 0,5^{\circ}C$ .

#### 5.8.5. Nesigurnost mjerenja razlike temperatura

Mjerenje temperature provodi se primjenom termometra (rezolucija  $0,1^{\circ}C$ ). Uz pretpostavku trokutaste razdiobe vjerojatnosti, nesigurnost očitavanja razlika temperatura  $u(\Delta t_1)$  iznosi:

$$u(\Delta t_1) = \frac{0,1^{\circ}C}{\sqrt{6}} = 0,041^{\circ}C$$

#### 5.8.6. Nesigurnost linearnog koeficijenta temperaturnog rastezanja



Za štapni kontrolnik i decimalnu mjernu skalu (izrađena iz čelika), procjenjuje se da koeficijent temperaturnog rastezanja leži s istom vjerojatnošću u intervalu  $\alpha = (11,0 \pm 1) \cdot 10^{-3} K^{-1}$ . Standardna nesigurnost koeficijenta temperaturnog rastezanja  $u(\alpha)$  iznosi:

$$u(\alpha) = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,577 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

Sastavljena standardna nesigurnost  $u_c(\delta L_T)$ :

$$u_c(\delta L_T) = 0,20 + 0,7 \cdot L \text{ } \mu\text{m}, L \text{ u m}$$

#### 5.8.7. Elastična deformacija uslijed mjerne sile

U postupku mjerenja seta mjernih listića ostvaruje se dodir između dva ticala na početku mjernog postupka (nulti položaj), te ticala i mjernih površina mjernih listića na kraju mjernog postupka. Iznos elastične deformacije mjernih listića u ovom postupku utvrđen je na osnovu Hertzovih formula. U mjernom sustavu se koriste kuglasta ticala, a materijal ticala i predmeta mjerenja je čelik. Standardna nesigurnost elastične deformacije uslijed mjerne sile  $u(\delta L_E)$ :

$$u(\delta L_E) = 0,5 \text{ } \mu\text{m}$$

#### 5.8.8. Abbe-ova pogreška

Abbe-ova pogreška mjerenja uzrokovana je time da nam mjerna skala nije u produžetku predmeta mjerenja. Kako je to u ovom postupku mjerenja slučaj utvrđujemo da Abbe-ova pogreška postoji, ali ju zanemarujemo zbog malih mjerenih dimenzija (mjerni listići nazivnih debljina od 0,05 mm do 1,0 mm).

#### 5.8.9. Nesigurnost zbog nesusnosti (nelinearnosti) mjernih ticala

Na dijelu mjerne skale koji će se koristiti u postupku umjeravanja utvrđena je pogreška linearnosti od 0,01  $\mu\text{m}$ . Uz pretpostavku pravokutne razdiobe slijedi standardna nesigurnost u iznosu:



$$u(\delta L_P) = \frac{0,01}{\sqrt{3}} = 0,0058 \text{ } \mu\text{m}$$

#### 5.8.10. Proširena mjerna nesigurnost

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja seta mjernih listića prikazane su u tablici 9.

Tablica 9. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja seta mjernih listića [5]

SASTAVNICA STANDARDNE MJERNE NESIGURNOSTI	IZVOR NESIGURNOSTI	IZNOS STANDARDNE NESIGURNOSTI	KOEFICIJENT OSJETLJIVOSTI	DOPRINOS MJERNOJ NESIGURNOSTI, $\mu m$ <b><math>L \text{ u } m</math></b>
$L_{Si}$	Ponovljivost	0,404	1	0,404
$\delta L_{Si}$	Granična pogreška	$0,29 + 5,8 \cdot L$	1	$0,29 + 5,8 \cdot L$
$\delta L_T$	Temperaturna korekcija	$0,20 + 0,7 \cdot L$	1	$0,20 + 0,7 \cdot L$
$\delta L_E$	Elastična deformacija	0,5	1	0,5
$\delta L_A$	Abbeova pogreška	-	1	zanemarivo
$\delta L_P$	Nesuosnost	0,0058	1	0,0058
Sastavljena standardna mjerna nesigurnost		$u_c(L_s) = \sqrt{(0,744)^2 + 50,74L^2}$		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost $U$ za $P=95\%$ , $k=2$		$U = (1,49 + 101,48L) \mu m, L \text{ u } m$		

Proširena mjerna nesigurnost iznosi:

$$U = (1,49 + 101,48L) \mu m, L \text{ u } m; k = 2, P = 95\%$$



## 5.9. SLJEDIVOST

„Sljedivost je svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti kojeg etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem usporedbi koje imaju utvrđene mjerne nesigurnosti“.[2] (slika 6.) Pošto umjeravanja seta mjernih listića provodimo na univerzalnom uređaju za mjerenje duljina, važno nam je promotriti kako se sljedivost prenosi na spomenuti uređaj. Usporedbenim mjerenjem sljedivost prenosimo s državnog etalona na garnituru plan paralelnih graničnih mjerki, a potom se pomoću njih umjerava univerzalni uređaj za mjerenje duljina.

### ***Dokumentacija:***

*1..... Radna podloga*

**- ZAVRŠETAK DOKUMENTA-**



Privitak br. 1 *Radna podloga*

## **RADNA PODLOGA**

Za umjeravanje mjernih listića

Broj: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

### **PODACI O MJERILU:**

Naziv:		Mjerno područje:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

5.5.	PRETHODNA ISPITIVANJA MJERNIH LISTIĆA	REZULTATI	
5.6.1.	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
5.6.2.	Mehanička oštećenja (korozijska, istrošenost)	da	ne
5.6.3.	Uočljivost nazivne mjere (brojke)	da	ne
Ostala zapažanja:			

**Može se provesti postupak umjeravanja:**                      **DA**                      **NE**

# RADNA PODLOGA

## Za umjeravanje mjernih listića

### REZULTATI MJERENJA

Nazivna mjera (mm)	Rezultati mjerenja							
	Očitana vrijednost (mm)			Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere ( $\mu\text{m}$ )	Dopušteno odstupanje po DIN 2275	Procijenjeno standardno odstupanje ( $\mu\text{m}$ )	Mjerna nesigurnost ( $\mu\text{m}$ )
0,05								
0,10								
0,15								
0,20								
0,25								
0,30								
0,35								
0,40								
0,45								
0,50								
0,55								
0,60								
0,65								
0,70								
0,75								
0,80								
0,85								
0,90								
0,95								
1,00								
U= 1,49 $\mu\text{m}$								

**Za mjerne listiće izdati**  
(nepotrebno precrtati)

**Potvrdu o umjeravanju**

**Izvješće o mjerenju**

**Ispitivanje izvršio:**

**Provjerio:**

### Podaci o mjernom postupku

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki „MAHR“ od 0,5 do 100 mm (oznaka GMD 14-359)
Mjerna oprema:	Univerzalni uređaj za mjerenje duljina „Joint Instruments“ (oznaka MU 44-421)
Temperatura okoliša:	(20 $\pm$ 1°C)

## 6. ZAKLJUČAK

Provedbom mjerenja pomoću tri mjerna uređaja (digitalni mikrometar, digitalni visinomjer i univerzalni uređaj za mjerenje duljina), te usporedbom dobivenih rezultata ustanovljeno je kako je optimalna mjerna metoda ona pomoću univerzalnog uređaja za mjerenje duljina. Osim što je univerzalni uređaj za mjerenje duljina uređaj najviše razine točnosti i najveće rezolucije ( $0,01\text{ }\mu\text{m}$ ), to je ujedno i najbrža metoda. Iz dobivenih rezultata zaključujem kako je umjeravanje pomoću digitalnog visinomjera nepovoljno, jer zbog načina mjerenja ne možemo ticalom obuhvatiti mjerni listić s obje strane istovremeno, što nam značajno povećava pogrešku mjerenja. Na kraju se nameće pitanje kako interpretirati rezultate mjerenja dobivene na digitalnom mikrometru, kao što je već ranije navedeno jedino su rezultati ovom metodom bili unutar granica dopuštenih odstupanja. Kao što znamo ticala kod digitalnog mikrometra su ravna i moguće je da prilikom mjerenja dolazi do deformacije listića pod utjecajem mjerne sile.

Zbog svega navedenog zaključujem kako mjerni listići nazivnih debljina 0,10 mm, 0,15 mm i 0,50 mm prelaze dopuštene granice odstupanja bilo zbog istrošenosti bilo zbog savinutosti koju nije moguće zamjetiti vizualnim pregledom prilikom prethodnog ispitivanja.



## LITERATURA

- [1] – Priručnik o kvaliteti, LFSB, izdanje 11. Zagreb, 2009.
- [2] – Mahović S. Predavanja Teorija i tehnika mjerenja
- [3] - [http://www.centar-alata.hr/mjerni-alati-ravnala-i-sablone/c1\\_15/p62/scala-mjerni-listici-0-05-1-0mm/product\\_info.html](http://www.centar-alata.hr/mjerni-alati-ravnala-i-sablone/c1_15/p62/scala-mjerni-listici-0-05-1-0mm/product_info.html)
- [4] – Norma DIN 2275: Fühlerlehren, 1977
- [5] - BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.





